

การวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการ
ผลิตหินปูน



ประกอบ ประมะ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตหินปูน



ประกอบ ประมะ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ENERGY GREENHOUSE GASES AND ECONOMIC ANALYSIS OF LIMESTONE PRODUCTION



PRAKOB PARAMA

A Dissertation Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Doctor of Philosophy Degree in Energy Management and Smart Grid Technology
June 2023
Copyright 2023 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตหินปูน

ของ ประกอบ ประมะ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมรรถกิริตเทคโนโลยี

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. ประเมษฐ์ สิทธิสันต์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. นัตถ์แก้ว ชัยลือชา)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ดร. บุญวัฒน์ วิจารย์พล)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพัทธ์ ธารักษ์)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

- เรื่อง:** การวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตหินปูน
- ผู้วิจัย:** ประกอบ ประมะ, วิทยานิพนธ์: ปร.ด. (การจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566
- อาจารย์ที่ปรึกษา:** ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปรเมษฐ์ ลิทธิสันต์ ดร.ฉัตรแก้ว ชัยสือชา
- คำสำคัญ:** โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, กระบวนการผลิตหินปูน, พลังงานจำเพาะ, ก๊าซเรือนกระจก, เศรษฐศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับลดการใช้พลังงานก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในปี 2561 มีการผลิตหินปูนบ้อนโรงไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 1,174,179.57 ตัน ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยของการผลิตหินปูน พบว่า การผลิตหินปูน 1 ตันมีการใช้พลังงานทั้งทางตรงและพลังงานทางอ้อมรวมกันเท่ากับ 78.31 MJ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินมีการใช้พลังงาน 37.59 MJ เป็นกระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด เกิดปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งกระบวนการผลิต เท่ากับ 4,770,961 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด เท่ากับ 2,007,662 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยต้นทุนการผลิตหินปูนทั้งหมดเท่ากับ 52.76 ล้านบาท การจัดการคิวรถบรรทุกหินปูน และลดเวลาจอดคิวรถบรรทุก ของการส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าสามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 27.33 และ 5.75 ตามลำดับ สำหรับแนวทางการควบคุมหินบ้อนย้อนกลับในอัตราไม่เกินร้อยละ 20 ด้วยระบบตรวจจับ พบว่าสามารถลดอัตราการใช้พลังงานได้ ร้อยละ 9.89 ทั้งนี้จากแนวทางการลดการใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการผลิตหินปูน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้รวมกันถึง 499,179 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยพบว่า หากดำเนินการลงทุนในระบบตรวจจับและควบคุมหินบ้อนย้อนกลับ การลงทุนดังกล่าวจะมีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) 26.99 % ระยะเวลาการคืนทุน 5.58 ปี

Title: ENERGY GREENHOUSE GASES AND ECONOMIC ANALYSIS OF LIMESTONE PRODUCTION

Author: PRAKOB PARAMA, Dissertation: Ph.D. (Energy Management and Smart Grid Technology), University of Phayao, 2023

Advisor: Dr. Surat Sedpho Co-advisor Dr.Poramate Sittisun Dr.Chatkaew Chailuecha

Keywords: Mae–Moh Power Plant, Limestone Production Process, Specific energy consumption, Greenhouse gases Economics

ABSTRACT

This research aims to analyze energy consumption, greenhouse gases and economics of limestone production process to retrieve the suitable ways to reduce the energy consumption, greenhouse gases and economics of limestone production process. In 2018, Mae Moh Power Plant, Lampang Province was produced limestone for the power plant around 1,174,179.57 tons. The results of energy consumption per unit of limestone production showed that 78.31 MJ of energy, both direct and indirect energy, were consumed to produce 1 ton of limestone. Open mining and quarrying process has the most consumed energy consumption of 37.59 MJ. The total amount of greenhouse gas emissions in the limestone production process is 4,770,961 kilograms of carbon dioxide equivalent. Open mining and quarrying process is the highest emissions around 2,007,662 kilograms of carbon dioxide equivalent. The total production cost of limestone is 52.76 million baht. The reduction of waiting time for loading queues of sending stone to the ore dressing plant and transportation of limestone into the power plant can reduce energy consumption by 27.33 and 5.75 percent, respectively. Regarding the control of stone feedback at a rate of not more than 20 percent with a detection system, it was found that energy consumption can be reduced by 9.89 percent. According to reduce the energy consumption in the limestone production process for Mae Moh Power Plant, Lampang Province. Greenhouse gas emissions can reduce by totaling 499,179 kilograms of carbon dioxide equivalent. The investment will have an internal rate of return (IRR) of 26.99% with a payback period of 5.58 years.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงและสามารถสร้างคุณประโยชน์ต่อวงการศึกษาศึกษาและวิจัย ได้ด้วยความอนุเคราะห์ ความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่าน ขอขอบพระคุณ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. ฉัตรแก้ว ชัยลือชา และดร. ปรเมษฐ์ สิทธิสันต์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และผู้ปฏิบัติงานที่ควบคุมงานเหมืองหินปูนโรงไฟฟ้า แม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.)แม่เมาะ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้ความสะดวก ในการเข้าพื้นที่เก็บข้อมูล ถ่ายทอดความรู้ และให้คำชี้แนะในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ สำเร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ อาจารย์สอนหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการ การพลังงานและเทคโนโลยีสารสนเทศกริตทุกท่าน ที่กรุณาสละเวลาให้ข้อเสนอแนะในการจัดทำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ร่วมเรียน ร่วมงาน และร่วมทุกข์สุข สำหรับความ ช่วยเหลือ ดูแล ให้กำลังใจ ที่ร่วมช่วยแก้ปัญหา ให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาของการเรียน และการเขียนบทความวิจัย ขอกราบขอบพระคุณมารดา ภรรยาและบุตรสาว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่สนับสนุน คอยให้กำลังใจและอยู่เคียงข้างตลอดระยะเวลาของการเรียน ทำให้เกิด ความมุ่งมั่นพยายาม จนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุพการี ครอบครัว และบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้ ให้ ความเมตตา และเป็นกำลังใจสำคัญแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดที่ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

ประกอบ ประมะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	4
นิยามคำศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
การผลิตหินปูนในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.....	6
กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน	8
การประเมินวัฏจักรชีวิต.....	11
การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)	14
พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC).....	16
การประเมินก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Evaluation)	17
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงินของโครงการ.....	19

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
กำหนดขอบเขตการศึกษา	29
กระบวนการผลิตหินปูน	29
แนวทางการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหินปูน	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย	35
การประเมินค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กระบวนการผลิตหินปูน.....	35
การวิเคราะห์พลังงานจำเพาะ (SEC) ในการผลิตหินปูน.....	37
เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน	41
แนวทางการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหินปูน	41
เปรียบเทียบผลการประเมิน.....	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	65
สรุปผลวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการ การผลิตหินปูน	65
ข้อเสนอแนะงานวิจัย	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก ภาพการสำรวจข้อมูลในกระบวนการผลิตหินปูน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ	74
ภาคผนวก ข การลำเลียงหินปูนเข้ากระบวนการบดคัดย่อยหินปูน.....	75
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบที่ใช้ในการคำนวณพลังงานจำเพาะ และก๊าซเรือนกระจกของ กระบวนการผลิตหินปูน.....	76
ภาคผนวก ง ตารางค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	82
ประวัติผู้วิจัย	83

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 รายละเอียดขอบเขตด้านข้อมูล	30
ตาราง 2 สารขาเข้า-สารขาออก ในกระบวนการผลิตหินปูนปี พ.ศ. 2561	36
ตาราง 3 ค่าพลังงานจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตหินปูน 1 ton ของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561	37
ตาราง 4 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้ง 4 กระบวนการในการผลิตหินปูน	39
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ ก่อนมีการลดการใช้พลังงานต่อปี	40
ตาราง 6 ข้อมูลด้านการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ก่อนการลดการใช้พลังงาน	41
ตาราง 7 หลักการทำงาน ของระบบตรวจจับและแสดงน้ำหนักของหินป้อนกลับ	45
ตาราง 8 แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยอัตราการผลิตหินปูนและอัตราหินย้อนกลับของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561	47
ตาราง 9 การพยากรณ์การพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตหินปูนและร้อยละหินย้อนกลับที่อัตราการผลิตหินปูน	50
ตาราง 10 แสดงผลของการดำเนินกิจกรรมการลดการใช้พลังงานและแนวทางในการลดการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ	52
ตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ หลังมีการลดการใช้พลังงานต่อปี	54
ตาราง 12 การประเมินผลการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซเรือนกระจก	55
ตาราง 13 ต้นทุนการผลิตหลังการลดใช้พลังงาน	56
ตาราง 14 ข้อมูลการประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	59
ตาราง 15 สมมุติฐานในการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	61
ตาราง 16 การประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	62

ตาราง 17 ข้อมูลดิบที่ใช้ในการคำนวณพลังงานจำเพาะ และก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการ ผลิตหินปูน	76
ตาราง 18 ปริมาณหินปูนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า.....	81



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	5
ภาพ 2 แผนที่เหมืองหินปูนในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	7
ภาพ 3 กระบวนการผลิตหินปูน.....	8
ภาพ 4 กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน	9
ภาพ 5 กรอบการดำเนินงานหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตามขั้นตอน	11
ภาพ 6 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14042.....	15
ภาพ 7 ตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์การถดถอย (Regression)	19
ภาพ 8 กระบวนการผลิตหินอุตสาหกรรม.....	23
ภาพ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	28
ภาพ 10 รถบรรทุกขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงโม่	42
ภาพ 11 โครงสร้างกระบวนการการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่และบดย่อยคัดแยกหินปูน	43
ภาพ 12 วงจรการทำงานของอุปกรณ์ปรับปรุง	44
ภาพ 13 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตต่อชม.และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อตัน	49
ภาพ 14 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตต่อชม.และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อตัน	49
ภาพ 15 ระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินมาตรการ.....	58

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟฟ้าจัดเป็นระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่ต้องมีการใช้งานมากขึ้นควบคู่ไปกับการเติบโตของประเทศ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่มักยังคงพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าร้อยละ 70 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) โดยเป็นเชื้อเพลิงจากถ่านหินมีสัดส่วนราวร้อยละ 22 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) (Electricity Generating Authority of Thailand, 2021) โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินลิกไนต์ภายในพื้นที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2513 ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 2,400 MW โดยจ่ายไฟฟ้าสำหรับภาคเหนือ 50% ภาคกลาง 30% และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20% ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงปีละประมาณ 16 ล้านตัน การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้จะก่อให้เกิดมลพิษต่าง ๆ ทั้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ รวมถึงซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดฝนกรดจะมีมากในการเผาไหม้ถ่านหิน โดยเฉพาะถ่านหินลิกไนต์ของเหมืองแม่เมาะ ซึ่งการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์สำหรับการผลิตไฟฟ้านั้น จะมีผลทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเมื่อปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะรวมตัวกับไอน้ำและเกิดเป็นฝนกรดและส่งผลกระทบต่อประชาชนรอบโรงไฟฟ้า ดังนั้นโรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงได้ทำการติดตั้งระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกจากก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันปนอยู่ในเชื้อเพลิง FGD ที่ใช้สำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใน FGD ระบบนี้จะใช้หินปูน (Calcium Carbonate, CaCO_3) เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) และจะได้ยิบซัม (Gypsum, $\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เป็นผลผลิต (By product) (โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2566) ในกระบวนการของ FGD นี้ ต้องใช้หินปูนจำนวนมากเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการกำจัด ซึ่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้มีพื้นที่ผลิตหินปูนที่เพียงพอให้ใช้ในระบบ FGD เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูก (สุดาร์ตน์ ผาสุกโก และคณะ, 2557) (Pasukko S, et al., 2014) ในแต่ละปีโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีการใช้หินปูนราว 1,320,000 ton (Department of Primary Industries and Mines, 2018) ซึ่งเป็นการผลิตภายในพื้นที่ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยในกระบวนการผลิตหินปูน ประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน และ 4)

การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า กระบวนการผลิตหินปูนแบบเปิดหน้าเหมืองนั้นจะมีการใช้เครื่องจักรหนักในการทำงาน เช่น รถเจาะ แบริดจ์ เป็นต้น จากนั้นมีการขนส่งเข้าโรงแต่งแร่ด้วยรถบรรทุกซึ่งล้นแล้วแต่น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก และในการบดย่อยให้ได้ขนาดตามความต้องการจะมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Kittipongvises S, & Polprasert C, 2016; AttavanichW et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีของเสียที่เกิดมาจากการผลิต ผลลัพธ์ต่าง ๆ ซึ่งผลกระทบต่อเหล่านี้ไม่ได้เกิดเฉพาะในส่วนที่นำมาใช้งานเท่านั้น แต่ยังมาจากการขนส่งของการขุดเจาะ ขนส่ง เพื่อนำแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ หรือ หินปูน (Niyomthai, S., & Wattanawan A, 2014) เหล่านี้มาใช้งาน ส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมากขึ้นไปอีกด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการลดการใช้พลังงานที่เป็นต้นเหตุให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเครื่องมือในระบบการจัดการพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งหาได้จากการนำเอาค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดหารด้วยปริมาณผลผลิตที่ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยตลอดกระบวนการการผลิตหินปูนในหน่วยของ เมกะจูล/ตันของแต่กระบวนการผลิตหินปูนดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น เพื่อเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานทั้งในส่วนของการใช้โดยตรง (Direct energy consumption) เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ไฟฟ้า เป็นต้น และพลังงานที่ใช้โดยอ้อม (Indirect energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ไฟฟ้า น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น เพื่อทำการเปรียบเทียบให้ทราบว่ากระบวนการในการผลิตหินปูน กระบวนการใดเป็นกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานที่มากหรือน้อยเมื่อเทียบกับหน่วยของการผลิต แล้วสามารถเลือกที่จะทำการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ดียิ่งขึ้นได้ ด้วยการกำหนดแนวทางที่เหมาะสมเพื่อลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต และส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้น้อยลง รวมถึงลดต้นทุนการผลิต ที่ใช้ไปอย่างไม่เหมาะสมในกระบวนการบดย่อยและคัดแยกหินปูนจากการที่ขนาดของหินไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งจะส่งผลให้มีอัตราป้อนย้อนกลับของหินสูง ทำให้มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก ต้นทุนการผลิตจึงเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการผลิตต่ำ

จากสภาพปัญหาด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นผลมาจากกระบวนการผลิตหินปูนที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในศึกษาข้อมูลของสาเหตุและพื้นฐานของปัญหา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ก่อนการ

ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตหินปูน จากนั้นจะกำหนดมาตรการหรือแนวทางที่เหมาะสมในการลดการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการผลิตหินปูนและวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นอีกครั้งจากกระบวนการผลิตหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง รวมถึงทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เพื่อตรวจสอบว่ามาตรการที่หรือแนวทางกำหนดขึ้นนั้น มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ เพื่อให้ทราบถึงการใช้ทรัพยากรและส่งผลต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน
2. เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการลดการใช้พลังงานก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน

ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยการวิเคราะห์พลังงานก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูนนี้ ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตในการวิจัยไว้ 3 ด้าน ได้แก่ ขอบเขตด้านข้อมูล ขอบเขตด้านพื้นที่และขอบเขตด้านเวลา ขอบเขตแต่ละด้านมีรายละเอียด ดังนี้

ขอบเขตด้านข้อมูล

งานวิจัยนี้จำทำการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ

1. การวิเคราะห์พลังงาน
2. ก๊าซเรือนกระจก
3. เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน

ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ศึกษา คือ เหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาในการศึกษาข้อมูล มกราคม 2560 – ธันวาคม 2561

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบข้อมูลการใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการการผลิตหินปูน
2. สามารถนำผลการศึกษาไปใช้ในการผลิตหินปูน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ลดผลกระทบการเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก
4. ทราบแนวทางในการลดการใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และ ต้นทุนในการผลิตหินปูน

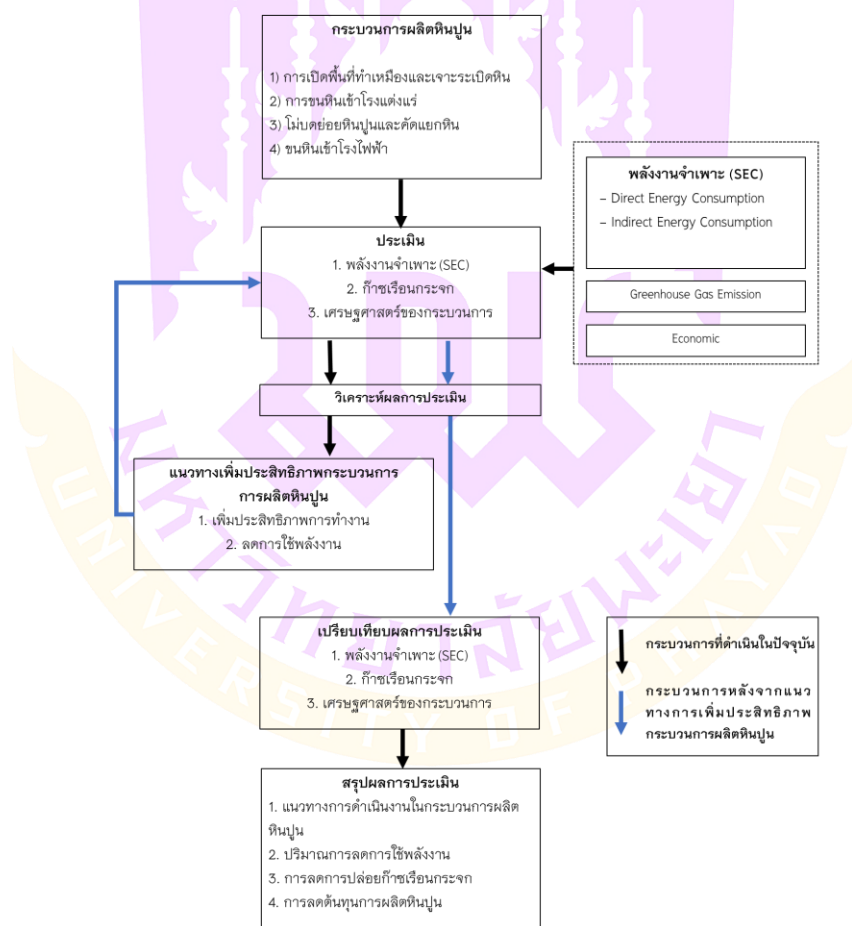
นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
2. การใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) คือ ปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ต่อหน่วย ตลอดกระบวนการผลิต ทั้งพลังงานที่ใช้โดยตรง (Direct energy consumption) และพลังงานที่ใช้โดยอ้อม (Indirect energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต
3. พลังงานที่ใช้โดยตรง (Direct energy consumption) คือ การใช้พลังงาน เช่น น้ำมัน เชื้อเพลิง ไฟฟ้า เป็นต้น โดยตรงของระบบที่พิจารณาโดยสามารถหาได้จากการนำปริมาณพลังงานที่ใช้คูณกับค่าพลังงานจำเพาะของพลังงานนั้น ๆ
4. พลังงานที่ใช้โดยอ้อม (Indirect energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ไฟฟ้า น้ำมันหล่อลื่น เหล็ก หิน ปูน เป็นต้นซึ่งหาได้จากการนำปริมาณของทรัพยากรคูณกับค่าพลังงานจำเพาะของทรัพยากรนั้น ๆ ซึ่งจะหาได้จากการเก็บข้อมูลจริงหรือจากฐานข้อมูลอื่น ๆ เช่น งานวิจัย ฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป บทความวิจัย เป็นต้น
5. ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) คือ กลุ่มก๊าซในชั้นบรรยากาศโลกที่สามารถกักเก็บและดูดกลืนคลื่นความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (Infrared) ที่ส่งผ่านลงมายังพื้นผิวโลกจากดวงอาทิตย์ได้ดี ก่อนทำการปลดปล่อยพลังงานดังกล่าวออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งทำ

ให้โลกเกิด “ภาวะเรือนกระจก” ที่สามารถช่วยรักษาสมดุลของอุณหภูมิพื้นผิวดาวเคราะห์ไว้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศอย่างฉับพลันในช่วงระหว่างกลางวันและกลางคืน ส่งผลให้โลกมีอุณหภูมิที่อบอุ่นและเหมาะสมต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต

กรอบแนวคิดงานวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตหินปูนมีกรอบวิจัยที่เกี่ยวข้องหลักอยู่ 2 ประเด็นคือ 1) วิเคราะห์การใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการการผลิตหินปูน 2) หาแนวทางที่เหมาะสมในการลดการใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการต้นแบบในการผลิตหินปูน โดยกรอบแนวคิดทั้งหมดแสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและการตรวจเอกสารใช้ประกอบสำหรับการวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐกิจของกระบวนการผลิตหินปูน ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

การผลิตหินปูนในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินลิกไนต์ภายในพื้นที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2513 ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 2,400 MW โดยจ่ายไฟฟ้าสำหรับภาคเหนือ 50% ภาคกลาง 30% และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20% ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงปีละประมาณ 16 ล้านตัน ซึ่งการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์สำหรับการผลิตไฟฟ้านั้น จะมีผลทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเมื่อปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะรวมตัวกับไอน้ำและเกิดเป็นฝนกรดและส่งผลกระทบต่อประชาชนรอบโรงไฟฟ้า ดังนั้น โรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงได้ทำการติดตั้งระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกจากก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันปนอยู่ในเชื้อเพลิง FGD ที่ใช้สำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใน FGD ระบบนี้จะใช้หินปูน (Calcium Carbonate, $CaCO_3$) เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) และจะได้ยิบซัม (Gypsum, $CaCO_3 \cdot 2H_2O$) เป็นผลผลิต (By product) ดังสมการ 1 (โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2566)



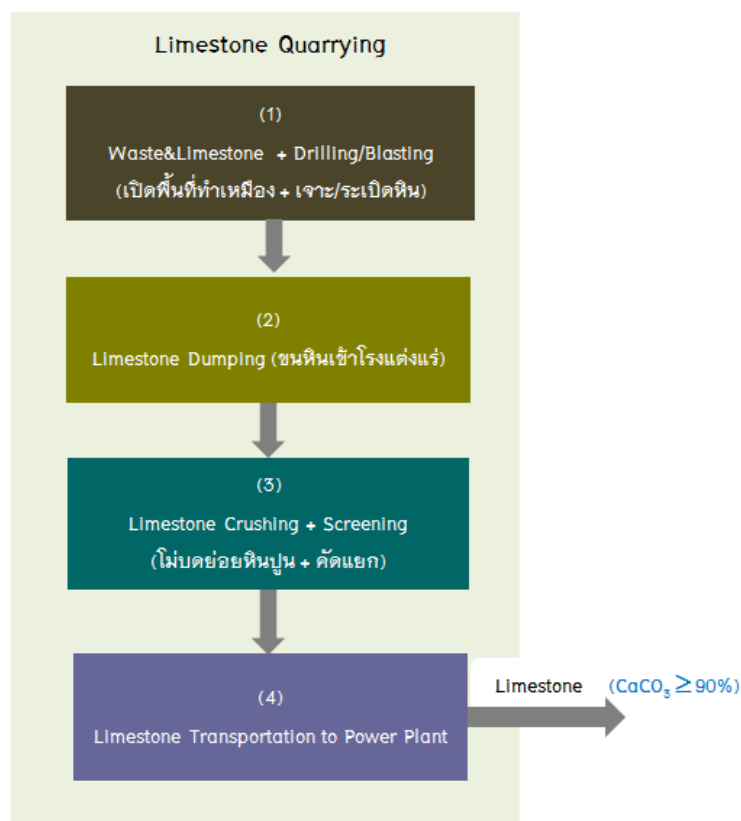
ในแต่ละปีระบบ FGD มีความต้องการใช้หินปูนจำนวนมากเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้มีพื้นที่สำหรับทำเหมืองหินปูนสำหรับผลิตหินปูนที่เพียงพอสำหรับใช้ในระบบ FGD โดยมีตำแหน่งที่ตั้งแสดงภาพ 2



ภาพ 2 แผนที่เหมืองหินปูนในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

ที่มา: <https://www.google.co.th/maps>, 2023

ในการผลิตหินปูนจากการทำเหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เริ่มต้นจากการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและเจาะระเบิดหิน การขนหินเข้าโรงแต่งแร่ โม่บดย่อยหินปูนและคัดแยกหิน หินที่ถูกโม่แล้วถูกส่งไปยังพื้นที่เก็บเพื่อรอนำไปใช้ในระบบ FGD โดยกระบวนการผลิตหินปูนแสดงดังภาพ 3

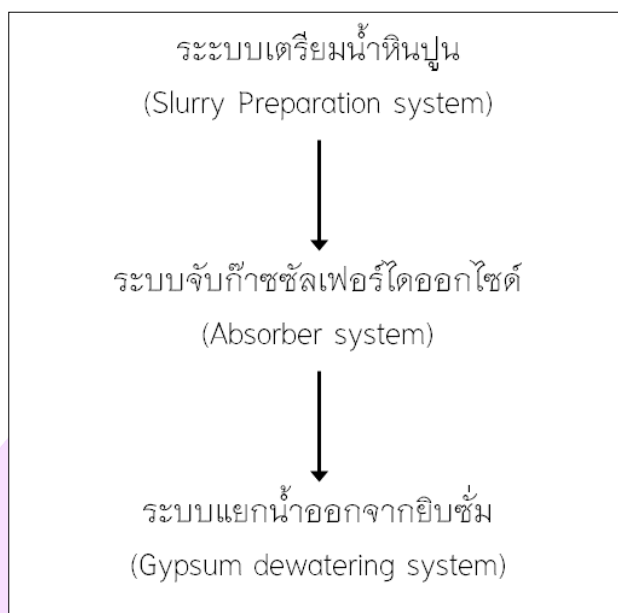


ภาพ 3 กระบวนการผลิตหินปูน

ที่มา: โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2566

กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน

เครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือ FGD เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันปนอยู่ในเชื้อเพลิง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงถึง 92-95 % ใน FGD ระบบนี้จะใช้หินปูนเป็นตัวดูดซับ ได้ยิบซัมเป็นผลผลิต การทำงานของ FGD สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 4 กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน

ที่มา: โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2566

1. ระบบเตรียมน้ำหินปูน (Slurry Preparation system) หินปูนจะถูกส่งโดยรถบรรทุกมายังบริเวณ FGD และลำเลียงเข้าไปเก็บไว้ในยูนิตเก็บหินปูน (Limestone Silo) หินปูนจากยูนิตเก็บจะถูกป้อนเข้าสู่โม่บดหินปูน ผ่านทางสายพาน (Limestone Feeder) หินปูนจะถูกบดผสมกับน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมภายในโม่บดหินปูนจนเป็นของเหลว และไหลลงสู่ถังพัก (Mill recycle tank) น้ำหินปูนเหลวจะถูกปั๊มจากถังพักไปยังชุดแยกขนาด (Hydro cyclone) โดยหินปูนเหลวที่ถูกบดได้ขนาดแล้วจะผ่านชุดแยกขนาดไปเก็บไว้ในถังป้อนน้ำหินปูน (Reagent feed tank) ส่วนหินปูนที่ยังไม่ได้ขนาดจะไหลกลับไปยังโม่บดเพื่อบดอีกครั้งจนได้ขนาด ที่ถังป้อนน้ำหินปูนจะมีปั๊ม Reagent feed pump ติดตั้งเพื่อปั๊มน้ำหินปูนไปใช้ในระบบอื่น ๆ ต่อไป และระบบดังกล่าวยังถูกออกแบบให้มีการไหลวน (Recirculate) ของน้ำหินปูนด้วย ทั้งนี้เพื่อป้องกันน้ำหินปูนอุดตันภายในท่อ นอกจากนี้ยังมีชุดใบพายกวน (Agitator) ติดตั้งอยู่ที่ถังป้อนน้ำหินปูน เพื่อกวนไม่ให้น้ำหินปูนตกตะกอนด้วย

2. ระบบจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Absorber system) มีลักษณะคล้ายหอคอย (Tower) โดยภายในจะฉาบ (Liner) ด้วยสารทนกรด ทั้งนี้เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ที่ส่วนบนของ Absorber จะมีชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Gas to gas heater) ติดตั้งอยู่ทั้งทางด้านเข้าและออกจาก Absorber อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้มีลักษณะเป็นท่อคล้ายหม้อน้ำรถยนต์ ดังนั้นเมื่อก๊าซ

ไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงผ่านเข้ามา ก็จะทำให้เกิดความร้อนให้น้ำภายในหอร้อนขึ้น และก๊าซไอเสียที่ออกจากอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำลง ส่วนน้ำในหอที่ร้อนขึ้นก็จะไหลเวียนไปยังชุดถ่ายเทความร้อนชุดที่ติดตั้งอยู่ทางด้านนอกของ Absorber เพื่อถ่ายเทความร้อนให้ก๊าซไอเสียที่จะออกจาก Absorber ให้ร้อนขึ้นต่อไปที่ส่วนล่างของ Absorber จะมีลักษณะเป็นอ่าง (Sump) และมีน้ำผสมน้ำหिनปูนบรรจุอยู่ และมีอุปกรณ์ที่สำคัญติดตั้งอยู่ คือ recirculating pump มีหน้าที่ปั้มน้ำผสมน้ำหिनปูน จากส่วนล่างขึ้นไปยังชุดหัวฉีดที่ติดตั้งอยู่บริเวณส่วนกลางของ Absorber ในขณะที่ Absorber bleed pump เป็นปั้มที่ทำหน้าที่ปั้มน้ำผสมยิบซั่มจากอ่าง Absorber ไปยังระบบแยกน้ำออกจากยิบซั่ม Oxidation air blower เป็นอุปกรณ์อัดอากาศ ทำหน้าที่อัดอากาศเข้าไปในอ่างของ Absorber เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (Oxidation) ในขบวนการผลิตยิบซั่ม Absorber sump agitator เป็นอุปกรณ์ลักษณะคล้ายใบพาย เพื่อใช้กวนเพื่อให้สารละลายเข้ากันภายในอ่าง Absorber ที่ส่วนกลางของ Absorber จะมีชุดหัวฉีด (nozzle) ที่รับน้ำผสมน้ำหिनปูนจากชุด Recirculating pump ติดตั้งอยู่ เพื่อทำให้เกิดการพ่นกระจาย (Spray) ของน้ำผสมน้ำหिनปูนใน Absorber ถัดจากชุดหัวฉีดลงมาจะมีชุดตะแกรง (grid pack) เพื่อให้ละอองน้ำผสมน้ำหिनปูนที่ฉีดจากหัวฉีดผสมกับก๊าซไอเสียได้ดียิ่งขึ้น และระหว่างชุดหัวฉีดทางด้านนอกของ Absorber กับชุดแลกเปลี่ยนความร้อน จะมีตะแกรงดักละอองน้ำ (Mist eliminator) ติดตั้งอยู่ เพื่อดักไม่ให้ละอองน้ำปะปนออกไปกับก๊าซไอเสียที่ถูกแยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไปแล้วการทำงานของระบบจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเริ่มตันโดย เมื่อก๊าซไอเสียจากหม้อน้ำ (Boiler) ผ่านเครื่องจับฝุ่น (Electrostatic Precipitator) มีอุณหภูมิประมาณ 163°C ไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเข้ามาใน absorber อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะลดลงเหลือ 145°C ก๊าซไอเสียดังกล่าวก็จะปะทะและตกลงเคล้ากับน้ำผสมน้ำหिनปูนที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดใน absorber น้ำส่วนหนึ่งจะระเหยกลายเป็นไอน้ำไปกับก๊าซไอเสีย และอุณหภูมิของก๊าซไอเสียใน absorber ก็จะเย็นลงถึงอุณหภูมิอิ่มตัว (Saturated Temperature) ที่ประมาณ 62°C แต่เนื่องจากปริมาณน้ำที่พ่นกระจายออกจากหัวฉีดได้ถูกออกแบบไว้ให้มีปริมาณสูงกว่าอัตราการระเหยมาก จึงทำให้มีน้ำผสมน้ำหिनปูนบางส่วนตกลงมายังอ่างด้านล่างของ absorber และน้ำผสมน้ำหिनปูนเหล่านี้เอง จะละลายเอาก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากก๊าซไอเสียโดยมีการเติมอากาศเข้ามาใน absorber จาก Oxidation blower ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (Oxidation) ขึ้นในขบวนการจนได้เป็นยิบซั่ม

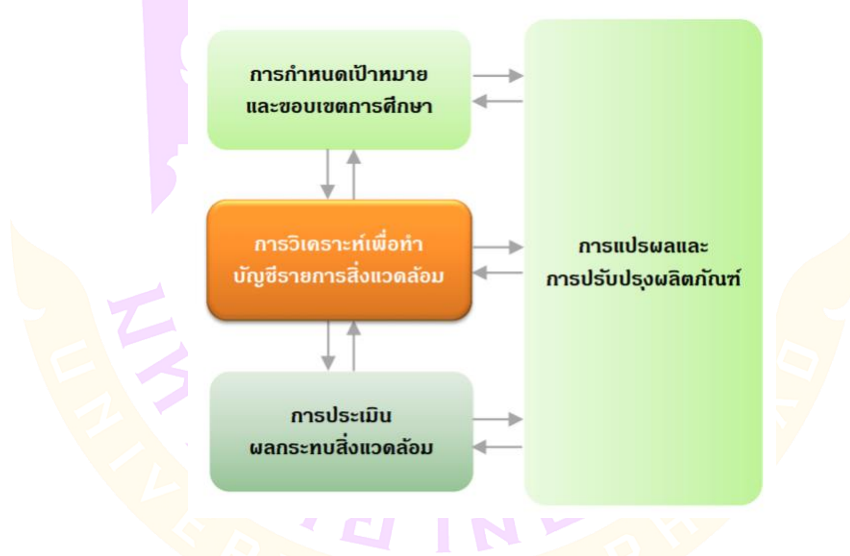
3. ระบบแยกน้ำออกจากยิบซั่ม (Gypsum dewatering system) ยิบซั่มเหลวผสมน้ำจาก Absorber bleed pump จะถูกส่งไปยังเครื่องแยกน้ำที่มีลักษณะเป็นสายพานที่มีรูพรุน และมีส่วนใต้ของสายพานจะติดอยู่กับระบบปั้มสุญญากาศ (Vacuum pump) เพื่อดูดน้ำให้แยกออกจากยิบซั่ม น้ำดังกล่าวจะไปรวมเก็บไว้ในถัง Reclaimed water tank เพื่อเตรียมนำกลับไปใช้ในระบบอื่น ๆ ส่วน

ผลิตภัณฑ์จะไปกับสายพาน และไหลลงสู่สายพานส่งเส้นต่อไปเพื่อนำไปทิ้งหรือใช้งานอื่น ๆ ต่อไป (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2562)

การประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินผลกระทบทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต หินปูนจะใช้หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา
2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ
3. การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
4. การแปลผลการศึกษา



ภาพ 5 กรอบการดำเนินงานหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตามขั้นตอน
มาตรฐาน ISO 14040

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2562

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

1. การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition) การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์เป็นขั้นตอนแรกในการทำ LCA โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา เพื่อให้ผู้รับสามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะวิธีทำ LCA ขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ ผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดถ้าการใช้งานไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม เป้าหมายเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษารายละเอียดและการสรุปผล เพราะเป้าหมายและวัตถุประสงค์จะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่าง ๆ ของเนื้อหาได้อย่างถูกต้อง การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ต้องครอบคลุมปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ การนำผลการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ทำอะไร การเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นเมื่อมีการนำหลักการ LCA มาพิจารณาและผลิตภัณฑ์ใหม่จะได้รับการปรับปรุงในเรื่องใดบ้าง (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

2. การกำหนดขอบเขต (Scope Definition) การกำหนดขอบเขต คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดสิ่งที่เราต้องการศึกษา รวมถึงการกำหนดหน่วยหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit : FU) การออกแบบระบบอ้างอิงหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงวัตถุประสงค์ของการศึกษาการออกแบบตัวแปรการประเมินทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของ LCA และการบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของ LCA ซึ่งการกำหนดขอบเขตประกอบไปด้วย ขอบเขตระบบ (System Boundary) หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์หมายรวมเอาหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกัน ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกันหรือหลายอย่าง โดยสามารถแบ่งขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบ หรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบก่อนมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่าง ๆ

หน่วยการศึกษา (Functional Unit : FU)

ด้านพลังงาน เป็นการประเมินความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ใช้ในกระบวนการหรือการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ต่อจากพลังงานที่ผลิตได้จากระบบ

ด้านประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการหรือกิจกรรมต่างๆ ต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากระบบการจัดการพลังงาน ในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO_2eq)

ด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต Life Cycle Cost : LCC ของการดำเนินโครงการ และประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบัน Net Present Value : NPV ในหน่วยบาท และวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ Payback Period : PB ในหน่วยปี

3. การกำหนดขอบเขตการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อเป้าหมายของ LCA สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบดังนี้ (เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม , 2559)

3.1 Cradle to Gate คือ ขอบเขตการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ

3.2 Cradle to Grave คือ ขอบเขตการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก

3.3 Gate to Gate คือ ขอบเขตการประเมินเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต

3.4 Cradle to Cradle คือ ขอบเขตการประเมินแบบพิเศษตั้งแต่การจัดซอกของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้สินค้าเดิมออกมา

การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล หมายถึงการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งรวมถึงการใช้ทรัพยากร การปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูลหรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System)

1. การสร้างหน่วยของข้อมูลและการตั้งหน่วยกระบวนการการสร้างหน่วยของข้อมูล เป็นการระบุกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแสดงกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงาน โดยเริ่มจากการศึกษาวัตถุดิบ การใช้พลังงาน ขั้นตอนการผลิต การขนส่งการบริโภคและการกำจัด ซึ่ง

จำเป็นต้องระบุวัตถุดิบ พลังงานและกระบวนการต่าง ๆ ให้ครบถ้วนเนื่องจากมวลสารที่เข้าระบบ จะต้องสมดุลกับมวลสารที่ออกจากระบบ

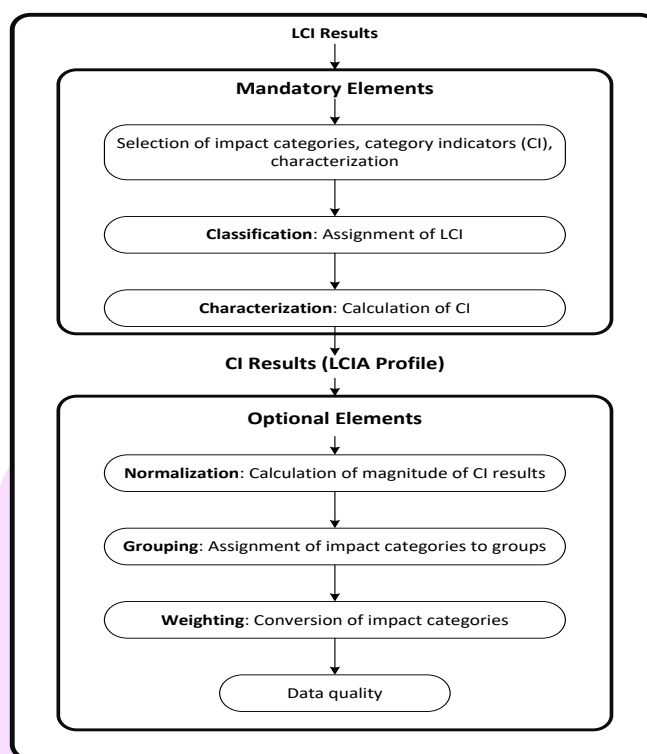
2. การรวบรวมข้อมูล การรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีความแตกต่างกันตั้งแต่การเริ่มใช้วัตถุดิบซึ่งมีหลากหลายประเภท ต้องสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ และข้อมูลเหล่านั้นต้องมีการเชื่อมโยงกัน ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาว่าจะมีการพิจารณาละเอียดมากน้อยเท่าใด

3. การคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล ในการรวบรวมข้อมูล หากระบบที่เกี่ยวข้องมีหลายประเภท ต้องมีการแจกแจงตามประเภทผลิตภัณฑ์ตามเหตุผลที่ชัดเจนและวิธีที่ระบุไว้ แล้วนำมาคำนวณซึ่งกระบวนการคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น NETS (Numerical Environmental Total Standard) Method เป็นต้น ขึ้นอยู่กับผู้วิจัย นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ LCA จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองงานด้าน LCA โดยเฉพาะสามารถเลือกได้ตามชนิดและข้อมูลของงาน เช่น ฐานข้อมูลโปรแกรม Sima Pro ที่ถูกพัฒนาขึ้นและเป็นที่นิยมในวงการ LCA

4. การนำเสนอของข้อมูลในรูปแบบของแบบฟอร์มที่เข้าใจง่าย การนำเสนอข้อมูลแก่ผู้รับเป็นส่วนสำคัญมาก เพราะการทำ LCA จะบรรลุวัตถุประสงค์ได้เมื่อผู้รับสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน การนำเสนอข้อมูลประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต คุณลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพของข้อมูล ข้อจำกัด และที่มาของข้อมูล เป็นต้น รูปแบบที่เป็นที่นิยม เช่น กราฟแท่ง กราฟวงกลม

การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)

ข้อมูลจากการวิเคราะห์บัญชีรายการจะถูกนำมาประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามขั้นตอน ISO 14042 ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14042

ที่มา: Jane C. Bare, 2010

โดยการขั้นตอนการดำเนินการประเมินผลกระทบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การกำหนดชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of impact categories) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องกำหนดว่าเราจะเลือกประเมินผลกระทบในด้านใดบ้าง เช่น การประเมินผลกระทบทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate change), ด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human toxicity) เป็นต้น

2. การจัดกลุ่ม (Classification) ว่าสารเข้าหรือสารออกแต่ละชนิด เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านใดบ้าง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ส่งผลกระทบต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ แต่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่ส่งผลต่อด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เป็นต้น

3. การกำหนดคบบทบาท (Characterization) ขั้นตอนนี้จะเป็นการพิจารณาในกลุ่มผลกระทบเดียวกันว่า มลสารแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน มีค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบมากน้อยเพียงใด เช่น การปล่อยมีเทน 1 กิโลกรัม มีค่าการก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 กิโลกรัม

เป็นต้น ซึ่งในขั้นตอนนี้มีผลสารแต่ละชนิดที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน จะถูกแปลงให้มีหน่วยเดียวกัน เช่น ผลกระทบทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศจะมีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO_2eq) เป็นต้น

ขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นเป็นขั้นตอนภาคบังคับของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (ซึ่งจะต้องดำเนินการ) หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าเป็นการประเมินผลกระทบชั้นกลาง (Midpoint impact) ส่วนในขั้นตอนที่เหลือ คือ ทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม เช่น การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Normalization) นั้น การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นหมวดหมู่ (Grouping) หรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าเป็นการประเมินผลกระทบชั้นปลาย (Endpoint impact)

ซึ่งในการประเมินผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลที่สกัดจากของเสียในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มนี้จะดำเนินการในระดับการประเมินผลชั้นกลาง โดยจะเลือกผลกระทบที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัด เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ, ความเป็นพิษต่อมนุษย์, การเกิดฝนกรด เป็นต้น

การแปลผลการศึกษา (Interpretation)

เป็นการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขผลกระทบที่เกิดขึ้น จะเป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้และนำเสนอแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดตลอดวัฏจักรชีวิตให้มีปริมาณและความรุนแรงโดยรวมลดลงในประเด็นที่สนใจ โดยการแปลผลการศึกษาเป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล อธิบายข้อจำกัด การจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือจากการทำบัญชีรายการการทำงาน และการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่ายและสมบูรณ์ โดยสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

การใช้พลังงานจำเพาะเป็นการประเมินปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ต่อหน่วย ตลอดกระบวนการผลิต ทั้งพลังงานที่ใช้โดยตรง (Direct energy consumption) และพลังงานที่ใช้โดยอ้อม (Indirect energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยใช้สมการ 1 (Li-Ming Wu, 2007)

$$SEC = \sum_i (ED_i + EI_i) \quad (2)$$

โดยที่

SEC คือ ค่าพลังงานการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของทรัพยากร i (MJ/Unit)

ED_i คือ ค่าพลังงานทางตรงที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร i (MJ/Unit)

EI_i คือ ค่าพลังงานทางอ้อมที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร i (MJ/Unit)

ค่าพลังงานทางตรงสามารถหาได้จากปริมาณพลังงานของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตคูณกับค่าพลังงานจำเพาะของทรัพยากรนั้น ๆ ส่วนพลังงานทางอ้อมสามารถหาได้จากการนำปริมาณของทรัพยากรที่ใช้คูณกับค่าพลังงานในการขนส่งทรัพยากรนั้น ๆ เช่นกัน ซึ่งพลังงานดังกล่าวได้จากฐานข้อมูล Ecoinvent ในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.0 (Ecoinvent, 2014) และวิเคราะห์หาจุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญและหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

การประเมินก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Evaluation)

การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศต้องดำเนินการภายใต้ฐานข้อมูล Ecoinvent โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.0 คู่มือคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate: IPCC2013) และข้อมูลหุติยภูมิ รายงานผลในหน่วย กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัม (kgCO₂eq/kg) ผลรวมของข้อมูลของกิจกรรมแต่ละกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Eco-invent, 2007) คำนวณได้ดังสมการ (3) (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2555)

$$GHG_i = \sum A_i \times EF_i \quad (3)$$

โดยที่ GHG_i = ผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม (kgCO₂eq)

A_i = ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Unit)

EF_i = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO₂eq/Unit)

□ = กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยข้อมูลกิจกรรม (Activity Data : A) เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณซึ่งเกิดจากกิจกรรมของการเกิดก๊าซเรือนกระจกประเภทต่าง ๆ เช่น ปริมาณน้ำมันที่ใช้ปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือพื้นที่ที่ใช้ปลูกข้าว เป็นต้น A อาจมีหน่วยที่แตกต่างกันไปในแต่ละ

ภาคและสาขาของการคำนวณดังนั้นในการนำค่าต่าง ๆ มาใช้ต้องระมัดระวังให้หน่วยที่นำมาใช้มีความถูกต้องและต้องสัมพันธ์กับหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF) ด้วยในบางครั้ง A ที่มีอยู่ไม่สามารถใช้ได้โดยตรง ต้องนำมาปรับหรือคำนวณเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นค่าที่สามารถนำมาใช้ได้ EF นี้ขึ้นอยู่กับกิจกรรมและเทคโนโลยีของแหล่งปล่อยในแต่ละประเทศอาจมี EF ตามเงื่อนไขเฉพาะของกิจกรรมนั้น ๆ เรียกว่าค่าการปล่อยเฉพาะของประเทศ (Country specific emission factor) ซึ่งได้มาจากการวัดจริงหรือการทดลอง ในกรณีที่บางประเทศไม่มี EF เฉพาะ ในคู่มือการคำนวณของ IPCC ได้เสนอค่าการปล่อยที่แนะนำ (Default value of emission factor) ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณได้ (บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis)

ในที่นี้จะจำกัดขอบเขตเฉพาะ การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression) คือการหาความสัมพันธ์ของปริมาณสองอย่างว่ามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างไรบนกราฟการกระจายตัว 16 ของข้อมูล เช่น ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) แบบยกกำลัง (Power) หรือแบบอื่นๆ ในงานวิจัยนี้แสดงความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ซึ่งการพยากรณ์แบบเส้นตรง จะสามารถพยากรณ์การใช้พลังงานได้ หากมีความสัมพันธ์กันมากกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง แต่หากมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการพยากรณ์ ค่าที่ได้จะเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นตรง การวิเคราะห์โดยใช้หลักการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น จะออกมาในภาพสมการดังต่อไปนี้

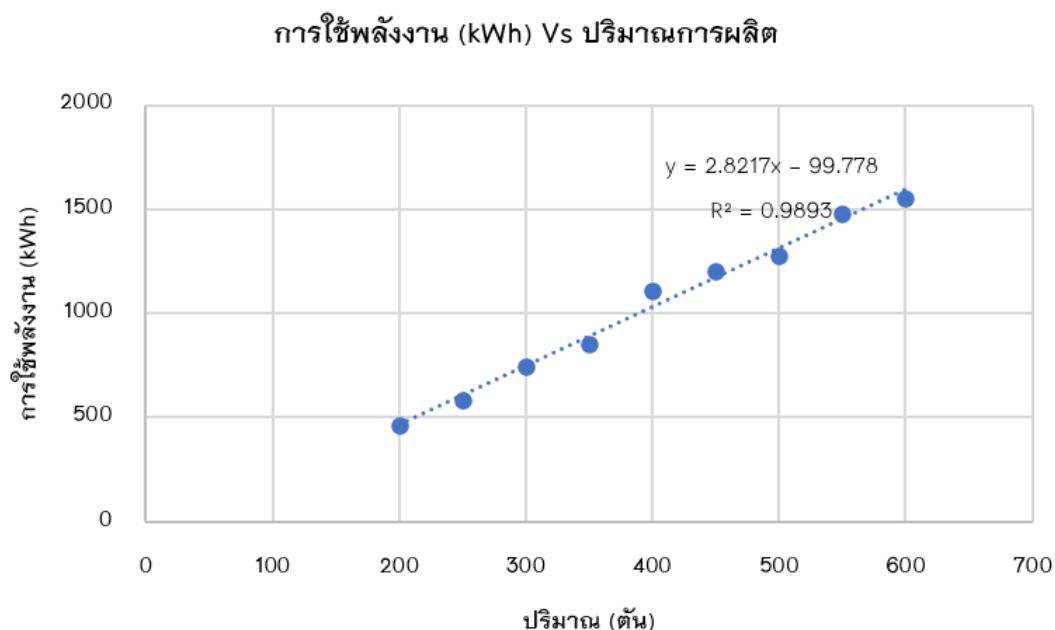
$$y = ax + b \quad (4)$$

โดยที่ x คือ ปริมาณบนแกน X เช่น ปริมาณผลผลิต

y คือ ปริมาณบนแกน Y ที่เกิดจากผลของปริมาณบนแกน X เช่น ปริมาณพลังงานไฟฟ้า

a คือ ความชันของกราฟ เป็นสัมประสิทธิ์ที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ X ขึ้นไป 1 หน่วย ปริมาณแกน Y จะมีค่าเพิ่มขึ้นไปเท่าใด

b คือ จุดตัดบนแกน



ภาพ 7 ตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์การถดถอย (Regression)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงินของโครงการ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงินของโครงการเป็นการประเมินความคุ้มค่าและความไม่คุ้มค่าในการลงทุนในโครงการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในอนาคตจากการมีโครงการ เพื่อตัดสินใจว่าจะมีโครงการหรือไม่ โดยมีแนวคิดเพื่อให้เกิดความเป็นธรรมในการใช้ทรัพยากร และเพิ่มสวัสดิการสังคมให้เกิดการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จึงมีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ทางการเงิน ซึ่งการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะเกิดภายหลังการวิเคราะห์ทางการเงิน โดยจำแนกประเภทรายการด้านต่างของต้นทุนและผลประโยชน์ให้แสดงถึงค่าเสียโอกาส หรือมูลค่าที่แท้จริงในระบบเศรษฐกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อให้สะท้อนถึงผลประโยชน์ต้นทุนหรือทรัพยากรที่แท้จริง ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการ

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในการประเมินค่าโครงการ (Project Appraisal) คือ เป็นการพิจารณาถึงความคุ้มค่าของการลงทุนหรือการดำเนินการในโครงการใดโครงการหนึ่งว่ามีความคุ้มค่าและสมควรนำไปลงทุนหรือไม่ โดยวิเคราะห์โครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นว่าจะให้ผลตอบแทนต่อระบบเศรษฐกิจส่วนรวมของประเทศหรือไม่เพียงใด เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ผลการวิเคราะห์คือ ถ้าผลประโยชน์ของโครงการนั้นสูงกว่าต้นทุนโครงการนั้นก็

โครงการที่ดีทางเศรษฐศาสตร์ การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจจึงมีส่วนช่วยอย่างสำคัญต่อการตัดสินใจในการที่จะรับหรือปฏิเสธโครงการ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ มูลค่าสุทธิของรายได้และค่าใช้จ่ายรวมตลอดโครงการและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ ยอดสุทธิของเงินทุนโครงการมากกว่าค่าใช้จ่ายของโครงการหลังจากหักต้นทุนของโครงการรวมกับพิจารณามูลค่าเงินที่เปลี่ยนไปตามเวลา (Time Value of Money) โดยต้องการให้มูลค่าของต้นทุนต่ำที่สุดเพื่อให้ได้ผลตอบแทนจากการลงทุนสูงและ NPV ก็คือ มูลค่าเฉลี่ยของส่วนกองทุนที่ใช้ในการดำเนินธุรกิจ วิธีของ NPV จะนำ (Time Value of Money) ลงในบัญชี เนื่องจากการลงทุนและการดำเนินการของโครงการมีระยะเวลายาวและเป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าประโยชน์และต้นทุนของโครงการจึงจำเป็นต้องนำค่าของเงินมาปรับให้อยู่ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน เพื่อจะได้เห็นผลตอบแทนสุทธิที่แท้จริงเป็นมูลค่าเงินปัจจุบัน โดยใช้ อัตราคิดลด (Discount Rate) ซึ่งความหมายของ Time Value of Money หมายถึง การที่ยอดรวมที่จะได้รับในอนาคตมีค่าน้อยกว่ายอดรวมที่จะได้รับในปัจจุบัน เพราะว่ายอดเงินที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นสามารถที่จะนำไปใช้ในการลงทุนซึ่งก่อให้เกิดผลตอบแทนได้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นการพิจารณา ค่าปัจจุบันหรือค่าเท่าของเงินลงทุน ณ เวลาปัจจุบันของเงินในอนาคต โดยอาศัย อัตราดอกเบี้ย ต่อช่วงเวลาเพื่อกำหนดค่าในอนาคตเพื่อสัมพันธ์กับปัจจุบัน ในการวิเคราะห์หามูลค่าปัจจุบันสุทธิ ใช้การคำนวณจากสูตร

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = S / (1 + i)^n \quad (5)$$

โดยที่

S = มูลค่าของเงิน ที่เป็นค่ากระแสเงินสดสุทธิสำหรับแต่ละปีที่ใช้ในการคำนวณหา
ค่า NPV ซึ่งค่ากระแสเงินสดนี้ใช้แทนความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายประจำปี
ของสถานะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในโครงการกับค่าใช้จ่ายประจำปีของสถานะ
สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีอยู่

i = อัตราดอกเบี้ย คือ อัตราส่วนลดหรืออัตราผลตอบแทนของการลงทุนในเวลา
คำนวณค่า NPV ตัวเลขอื่น ๆ ในการคิดคำนวณอัตราส่วนลด ได้แก่ ค่าใช้จ่าย
ในส่วนของเงินลงทุนและอัตราผลตอบแทนของโครงการอื่น ๆ

n = จำนวนปีทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณค่า NPV การคำนวณนั้นคิดในแต่ละปีที่ถูก
นำมาพิจารณา

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) หมายถึง ระยะเวลากการดำเนินงานโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการ มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพอดี หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ จำนวนปีในการดำเนินงานซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้ว มีค่าเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ระยะเวลาคืนทุน (จำนวนปี) สามารถคำนวณได้ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (6)$$

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจโดยการพิจารณาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) จากโครงการที่ได้ผลตอบแทนคืนภายในระยะเวลาอันสั้น

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน หมายถึง ผลตอบแทนเป็นร้อยละของโครงการหรืออัตราคิดลดในกระบวนการคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าอัตราคิดลดระดับหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการคิดลดแล้วทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าลดลง และลดลงต่อไปตรงเท่าที่อัตราคิดลดยังคงสูงขึ้นตามลำดับ ในท้ายที่สุดจะมีอัตราคิดลดระดับหนึ่งที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งก็คืออัตราผลตอบแทนภายในของโครงการในการศึกษานี้การหา i ซึ่งจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ใช้วิธีลองเพิ่มและลดอัตราคิดลด แล้วพิจารณาว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นอย่างไร ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกหรือมากกว่าศูนย์ แสดงว่าถึงจะเสียดอกเบี้ยลงทุนรายได้ยังคงเกินรายจ่ายอยู่อีกจำนวนหนึ่ง อัตราคิดลดที่เลือกจึงยังคงต่ำเกินไป ยังสามารถเพิ่มให้สูงขึ้นได้ ขึ้นต่อไปลองเพิ่มอัตราคิดลด ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบหรือน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าอัตราคิดลดที่ต้องการจะต้องอยู่ในระหว่างสองค่าดังกล่าว ในการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการหรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) นั้นคล้ายคลึงกับการคำนวณหา NPV แต่ส่วนที่แตกต่างกันนั้นอยู่ที่ค่าตัวแปร i ค่า IRR ถูกใช้แทนอัตราส่วนลดหรืออัตราส่วนผลตอบแทนการลงทุนของโครงการ

หลักในการตัดสินใจว่าโครงการคุ้มค่านำลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ คือ IRR มีค่าสูง และต้องสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของทุน

$IRR = \text{ค่า } i \text{ (อัตราคิดลด) ที่จะทำให้ } NPV = 0$

ถ้า IRR สูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุน จะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า

ถ้า IRR ต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของทุน จะเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากแนวคิดการวิเคราะห์พลังงานจำเพาะ (SEC) ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน ที่ได้กล่าวถึงไปในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่าจะมีหลายตัวแปรที่จำเป็นต้องใช้เพื่อพัฒนาแนวคิดต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นของประเทศไทย ซึ่งวิธีการได้มาซึ่งตัวแปรต่าง ๆ นั้นได้มีนักวิจัยที่ได้ทำการวิจัยมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยอาจจะใช้วิธีการที่เหมือนหรือแตกต่างกัน โดยผู้วิจัยขอนำเสนอโดยแยกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

การวิเคราะห์การใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

การวิเคราะห์การใช้พลังงานจำเพาะ คือ การหาค่าปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์และเพื่อเป็นเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายอีกด้วย

ในปี 2017 Chiara และคณะ ใช้เทคนิคการประเมินพลังงานจำเพาะ ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถไฟฟ้ความเร็วสูง โดยทำการประเมินออกมาในหน่วยของ kWh/seat km เปรียบเทียบกัน 4 เส้นทาง โดยในการประเมินการใช้พลังงานของการเดินรถไฟฟ้านั้นจะพิจารณา 2 ส่วนคือ พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้ (Traction force energy consumption) และพลังงานที่ใช้ในสถานี (Auxiliary system energy consumption) ซึ่งมีการเปรียบเทียบค่าพลังงานจำเพาะของรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น ระยะของเส้นทาง น้ำหนักที่บรรทุก เป็นต้น ปี 2018 Karabelas และคณะ ได้วิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยในการกลั่นน้ำทะเล โดยวิเคราะห์จากพลังงานที่ใช้ต่อน้ำที่ได้จากการกลั่นค่าที่ได้ออกมาแสดงในหน่วย kWh/m³ โดยงานวิจัยนี้วิเคราะห์ไปจนถึงการใช้พลังงานในกระบวนการย่อย ทำให้สามารถบ่งบอกไปถึงจุดที่ต้องมีการปรับปรุงการใช้พลังงาน รวมถึงการลดการใช้พลังงานจำเพาะ (Li, 2011) ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนากระบวนการต่อไป

การวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจกการผลิตหินปูน

ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การเก็บข้อมูลของกระบวนการผลิตหินปูนในประเทศไทยเป็นหลัก เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนสำหรับการเก็บข้อมูลในงานวิจัย ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่กระบวนการผลิตหินปูนจะเป็นกระบวนการประกอบสำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งกระบวนการที่ดำเนินการจะเป็นวิธีที่เหมือนกัน โดยในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างงานที่มีความใกล้เคียงกันมาเพื่อแสดงให้เห็นกระบวนการและการเก็บข้อมูล ดังนี้

อาทิมา ดับโสก (2559) ได้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับองค์กรของหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง พิจารณาคอบคลุมใน 2 ขอบเขต คือ 1) การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (Direct emissions) ซึ่งเกิดจากการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการเผาไหม้

เชื้อเพลิงฟอสซิลและการรั่วไหลอื่น ๆ และ 2) การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม (Indirect emissions) ซึ่งเกิดจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตทรัพยากรต่าง ๆ โดยครอบคลุมกระบวนการผลิตตั้งแต่ กระบวนการทำเหมือง กระบวนการขนส่งลำเลียงหิน และ กระบวนการของโรงโม่ ดังแสดงในภาพ 8



ภาพ 8 กระบวนการผลิตหินอุตสาหกรรม

ที่มา: อาทิตยา ดับโตก, 2559

Liu, F et al (2015) ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนสำหรับรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ ในเหมืองถ่านหินแบบเปิด พบว่าสัดส่วนการขนส่งคิดเป็น 80% ของการปล่อยคาร์บอนในเหมืองถ่านหินแบบเปิด เกี่ยวกับการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนของการขนส่งภายในเหมืองแบบเปิด โดยการเปรียบเทียบกระบวนการและการใช้พลังงานของรถบรรทุกและสายพานลำเลียงอย่างเป็นระบบ

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ธีรศักดิ์ อุณารมณเลิศ (2550) ประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ว่าโครงการนั้นให้ผลประโยชน์คุ้มค่าหรือไม่ และช่วยให้การตัดสินใจนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนที่นิยมใช้อยู่ 4 วิธีดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

เนื่องจากผลประโยชน์ของโครงการมักเป็นผลตอบแทนระยะยาว คือ เราจะได้ผลประโยชน์จากโครงการเป็นเวลานานหลายปี แต่การลงทุนหรือค่าใช้จ่ายนั้นมักทำในระยะสั้น ดังนั้น การที่เราจะเปรียบเทียบผลประโยชน์และรายจ่ายที่ต้องเสียไปในโครงการจะต้องทำการปรับค่าของเวลาของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ให้อยู่ในรูปมูลค่าปัจจุบันของโครงการเสียก่อน

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถดำเนินการได้โดยเริ่มด้วยการปรับค่าเวลาของค่าใช้จ่ายและของประโยชน์เป็นรายปีตลอดอายุของโครงการเพื่อให้เป็นค่าในปัจจุบันเมื่อ

นำมาหักลบกันจะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการหรือจะคำนวณโดยนำค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นของโครงการไปหักออกจากผลประโยชน์เป็นรายปีไป เพื่อให้ได้ผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสด (Cash flow) ในแต่ละปี หลังจากนั้นก็ทำการปรับค่าของเวลาของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ซึ่งก็คือตัวร่วมส่วนลด (Discount factor) เมื่อปรับค่าของเวลาแล้วก็จะได้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิของโครงการ

หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจโครงการใด ๆ ที่ให้ค่า NPV ที่เป็นบวกและมีค่ามากกว่าจะเป็นโครงการที่ยอมรับและได้รับการเลือกให้ดำเนินการก่อน ถ้า NPV มีค่าเป็นลบ แสดงว่าการลงทุนตามโครงการนั้นไม่เป็นที่ยอมรับหรือไม่คุ้มค่ากับรายจ่ายที่ลงทุนในโครงการ

2. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

ซึ่งเกณฑ์นี้เป็นเกณฑ์การวิเคราะห์ผลตอบแทนภายในของเงินลงทุนเพื่อเทียบกับอัตราดอกเบี้ยในท้องตลาด ซึ่งก็คืออัตราที่ทำให้ผลได้ในมูลค่าปัจจุบันเท่าต้นทุนที่จ่ายไปในมูลค่าปัจจุบัน

หลักเกณฑ์ในการเลือกโครงการคือ เลือกลงทุนในโครงการที่มีค่า r หรือ IRR สูงกว่าค่าเสียโอกาสของทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินที่กู้มาลงทุน มิฉะนั้นจะไม่เลือกโครงการนั้น จะเห็นว่าการคำนวณ IRR เป็นหลักเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับกันในการเลือกโครงการ เพราะค่า IRR หรือ r ที่หาได้นั้น จะเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับรายได้และรายจ่ายของโครงการ

3. อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Rate of Return on Investment)

เกณฑ์อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนนี้จะวัดค่าของโครงการในรูปอัตราส่วนซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานต่อการลงทุน

ทั้งนี้เราเราจะตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการที่ให้ค่า ROI สูงสุดเป็นอันดับแรก และลดหลั่นลงมาตามลำดับ โดยที่เกณฑ์นี้มีข้อบกพร่องดังเช่นสองเกณฑ์ที่ผ่านมาคือ นอกจากจะไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการได้มาซึ่งผลประโยชน์ ยังจะให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบัน

4. ระยะคืนทุน (Payback Period)

เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน (ผลกำไรที่ได้รับแต่ละปีรวมกัน โดยเป็นกำไรสุทธิหลังหักภาษี ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของ ทรัพย์สิน) เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุน ดังนั้น หากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มกับจำนวนเงินที่ลงทุนได้รวดเร็วก็จะดี เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสามารถนำเงินที่ถอนทุนได้ไปลงทุนเพื่อหาประโยชน์ในกิจการอื่น ๆ ต่อไป

เกณฑ์การตัดสินใจในแบบระยะคืนทุนนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในวงการธุรกิจหรือกรณีที่มีความเสี่ยงสูง อาทิ กรณีผู้ประกอบการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ โดยยังไม่ขอลิขสิทธิ์ การนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวออกสู่ตลาดอาจถูกคู่แข่งขึ้นเลียนแบบ นอกจากนั้น อาจเผชิญกับความเสี่ยงซึ่งเกี่ยวกับสถานการณ์การเมืองในประเทศที่จะลงทุนหรือในอุตสาหกรรมซึ่งมีเทคโนโลยีใหม่ๆ เกิดขึ้นเร็วมาก ดังนั้น นักลงทุนต้องเลือกโครงการที่ให้ผลประโยชน์คืนเร็วในระยะเวลานั้น เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตหินปูน

ศณิน และ คมกฤต (2561) ได้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตหินปูนขนาดใหญ่ในเหมืองหินโดยวิธีการวัดประสิทธิผลโดยรวม ผลการศึกษาพบว่าความสูญเสียจากการหยุดเครื่องสาเหตุหลักคือเบคโฮ มีผลต่อการเดินเครื่อง และความสูญเสียจากเครื่องจักรเสียกำลัง สาเหตุหลักคือความยากในการตักหิน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเดินเครื่อง ดังนั้นการแก้ปัญหา คือ การปรับขนาดของหินจากการระเบิดให้มีขนาดเล็กลง พบว่าสามารถเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวม จากเดิม 58.72% เป็น 84.49% เพิ่มขึ้น 25.77%

ทวีศักดิ์ (2558) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของหินปลายตะแกรงสำหรับงานก่อสร้างถนนของกระบวนการผลิตหินจากโรงโม่หิน ตั้งแต่การศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมงานทางของหินปลายตะแกรงและกำลังรับแรงอัดของหินปลายตะแกรงปรับปรุงคุณภาพ แบบ Unconfined Compressive Strength ที่อายุ 7 วัน ผลการศึกษาที่ได้พบว่า คุณสมบัติด้านวิศวกรรมงานทางของหินปลายตะแกรง ไม่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างพื้นทางได้ตามมาตรฐาน DH-S 203/1989, หินปลายตะแกรงไม่สามารถรับกำลังแรงอัดได้, การปรับปรุงคุณภาพหินปลายตะแกรงด้วยการผสมปูนซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 2.50 โดยน้ำหนักหินปลายตะแกรงรับแรงอัดได้สูงที่สุดเท่ากับ 34.80 กก./ตร.ซม. รวมถึงการปรับปรุงหินปลายตะแกรงด้วยการผสมปูนซีเมนต์ทำให้รับแรงอัดได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงคุณภาพหินปลายตะแกรงเพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทางเท่ากับร้อยละ 2.00 โดยน้ำหนักของหินปลายตะแกรง

ไพศาล (2551) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของโรงโม่หินปูน ซึ่งใช้ข้อมูลจากโรงโม่หินศิลาแม่ทะ จังหวัดลำปาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงโม่หินปูนโดยใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรม มีการเก็บข้อมูลโดยใช้ใบตรวจสอบ (Check Sheet) จากนั้นคำนวณหาค่าประสิทธิผลโดยรวม (Overall Equipment Effectiveness) ของเครื่องโม่หิน Jaw Crusher ก่อนการปรับปรุงแล้ววิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่สำคัญที่สุดโดยใช้แผนภูมิพาเรโต และวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fish bone Diagram) ซึ่งพบว่าปัญหาหลักที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลา คือ การใช้เวลาในการปรับแต่ง

เครื่องจักร เครื่องจักรเสีย การหยุดเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น มีหินใหญ่ติดปากโม การเดินเครื่องตัวเปล่า ซึ่งแนวทางในการแก้ไขมีได้หลายทางเลือก แต่วิธีที่เหมาะสมและถูกเลือกเพื่อนำไปปรับปรุง ได้แก่ การเผื่อระยะว่างและคอยสังเกตสิ่งผิดปกติต่าง ๆ ในยังรับหิน การฝึกอบรมทักษะการทำงานของพนักงาน การปรับสภาพถนนหน้าโรงโม่ให้เรียบ และการตรวจเช็คเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นประจำทุกวัน จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและคำนวณหาค่า OEE หลังการปรับปรุงอีกครั้งเพื่อนำมาเปรียบเทียบผล ผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงโม่หินได้ โดยค่า OEE ของโรงโม่หิน มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 19.21% และสามารถลดเวลาที่สูญเสียไปเฉลี่ยประมาณ 50.43 นาทีต่อวัน ซึ่งก่อนการปรับปรุงค่า OEE ของโรงโม่หินส่วนมากจะอยู่ในระดับต่ำกว่ามาตรฐาน แสดงว่าโรงโม่หินทำงานได้ไม่เต็มความสามารถที่มันจะทำได้ เนื่องจากการสูญเสียเวลาในแต่ละวันค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าถ้าลดเวลาสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงโม่หินปูนให้สูงขึ้นได้

คณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.), สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.) และ หจก.แม่เมาะวิศวกรรมเหมืองแร่ (2559) ทำการพัฒนาหัวเจาะสำหรับงานระเบิดเหมืองถ่านหิน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหินตะกอนที่พบในแอ่งแม่เมาะเป็นหินตะกอนกึ่งแข็งตัว “กลุ่มหินแม่เมาะ” โดยมีชั้นถ่าน 5 ชั้น คือ J , K , Q , R และ S เรียงลำดับจากชั้นบนลงล่าง ซึ่งชั้นถ่านหินลิกไนต์ K และ Q เป็นชั้นที่มีความสำคัญมากเนื่องจากให้ค่าพลังงานความร้อนที่สูงสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และมีความหนาชั้นละ 20 - 30 เมตร ลักษณะของชั้นถ่านหินลิกไนต์ K และ Q แทรกสลับบริเวณส่วนกลางของกลุ่มหินแม่เมาะ ที่ประกอบไปด้วยหินเคลย์ (Claystone) หินโคลน (Mudstone) หินทราย (Sandstone) และหินกรวดมน (Conglomerate) เนื่องจากมีลักษณะของชั้นหินที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับหัวเจาะที่ส่งซื้อตามท้องตลาด ในราคาหัวละ 12,000 ถึง 20,000 บาท ขึ้นอยู่กับการใช้งาน แต่ไม่สามารถใช้งานกับการเจาะชั้นหินที่มีความแตกต่างกันได้ ทีมงานผู้พัฒนาจึงได้การผลิตหัวเจาะสำหรับเจาะรูเพื่อบรรจุวัตถุระเบิดเหมืองถ่านหินลิกไนต์ขึ้นมาใช้เอง แต่ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นกับหัวเจาะที่ทำการผลิตขึ้นมา คือ เกิดการสึกหรอขึ้นบริเวณเล็บกัดและใบกัดของหัวเจาะ ทำให้หัวเจาะมีอายุการใช้งานในการเจาะน้อยอยู่ที่ประมาณ 200 เมตร/หัว และใช้เวลาในการเจาะแต่ละหลุม 6 ถึง 7 นาที จากปัญหาดังกล่าว ทีมงานผู้พัฒนาจึงได้เห็นความสำคัญและมีความต้องการที่จะพัฒนาคุณภาพของหัวเจาะโดยที่จะทำการศึกษาผลของมุมเอียง ผลของมุมบิด และจำนวนของใบกัดที่มีผลต่อการเจาะรูเพื่อบรรจุวัตถุระเบิดของเหมืองถ่านหินลิกไนต์ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันใน

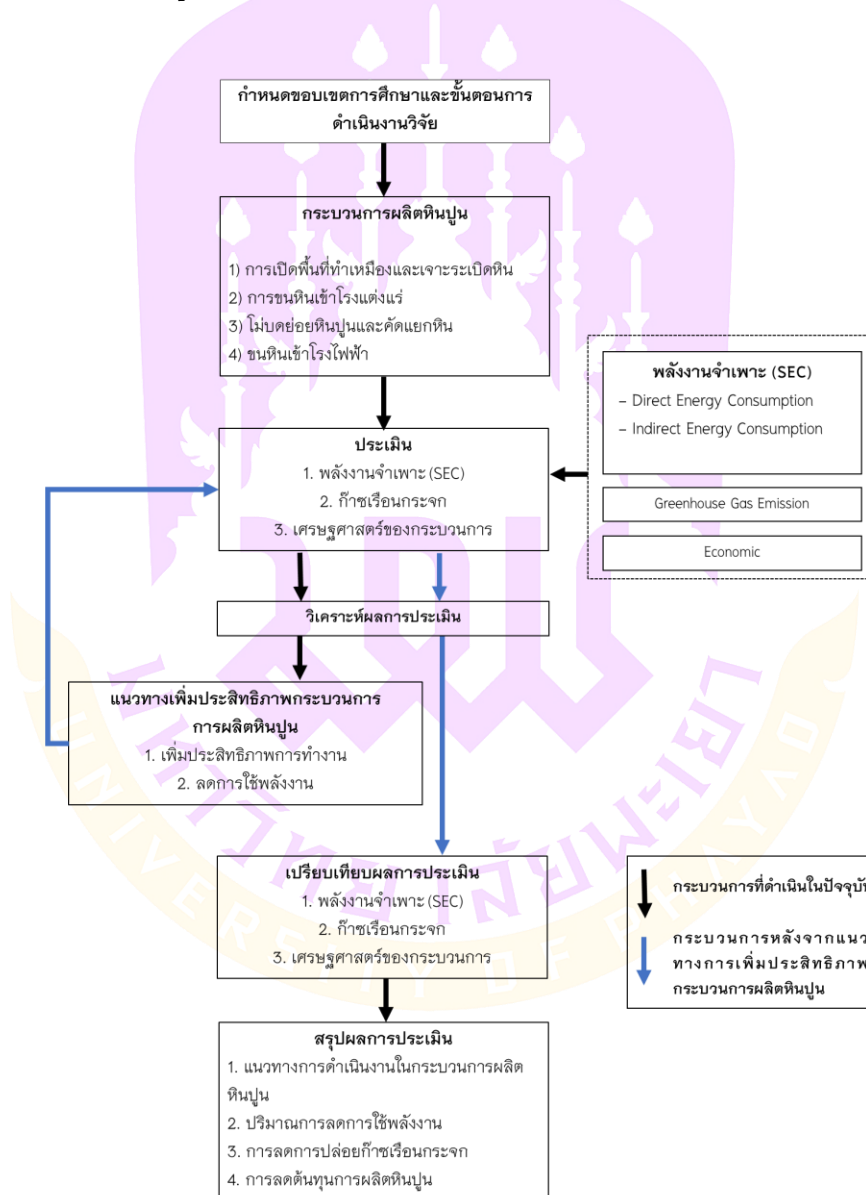
ห้องตลาด และผลิตในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้องตามหลักวิชาการที่เหมาะสม สามารถยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้จากการพัฒนาคือ หัวเจาะที่ทำการพัฒนาขึ้น สามารถลดการสึกหรอขึ้นบริเวณเล็บกัดและใบกัดของหัวเจาะได้ต่ำกว่า 20% และหัวเจาะมีอายุการใช้งานในการเจาะเพิ่มขึ้น 30% เมื่อเทียบกับของเดิม และมีสเปรย์น้ำแรงดันสูงสำหรับจับฝุ่นภายในรูเจาะไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นเกิดขึ้นในขณะทำการเจาะรูเพื่อบรรจุระเบิด รวมถึงหัวเจาะที่ทำการพัฒนาขึ้นจะใช้สเปรย์น้ำแรงดันสูงในการระบายความร้อนและรักษาอุณหภูมิให้กับหัวเจาะและใบเจาะในขณะทำการเจาะรู เพื่อยืดอายุการใช้งานของหัวเจาะให้เพิ่มขึ้น



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยหัวข้อ การวิเคราะห์พลังงาน ก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ ในกระบวนการผลิตหินปูน มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังภาพ 9



ภาพ 9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

กำหนดขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้เริ่มจากการกำหนดปัญหาที่เป็นผลกระทบจากระบวนการผลิตหินปูนสำหรับการนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนด้วยค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) สำหรับประเมินการใช้พลังงานของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตหินปูนให้อยู่ในหน่วยการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (เมกะจูล/ton หินปูน) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนด Functional Unit ต่อการผลิตหินปูนในกระบวนการผลิต 1 ton จากนั้นทำการระบุกระบวนการที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญที่มีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพ พร้อมทั้งกำหนดมาตรการหรือแนวทางการลดการใช้พลังงานหรือเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยมีการคำนึงถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุนของมาตรการนั้น ด้วยการใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงนำการข้อมูลการใช้พลังงานที่ลดลงไปเปรียบเทียบให้เป็นค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงด้วย จึงทำให้ผู้วิจัยต้องกำหนดขอบเขตการศึกษา เพื่อประเมินค่าและเสนอแนวทางลดการใช้พลังงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเมินการใช้พลังงานทั้งหมด 4 กระบวนการ ในการผลิตหินปูน โดยมีรายละเอียดและขอบเขตดังต่อไปนี้

กระบวนการผลิตหินปูน

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง การเก็บข้อมูลบัญชีรายการกระบวนการผลิตหินปูน โดยสารขาเข้าในกระบวนการผลิตประกอบด้วย ทรัพยากร พลังงาน สารขาออกประกอบด้วย หินปูนขนาดไม่เกิน 10 mm ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ป้อนในระบบ FGD ที่เกิดจากการผลิตหินปูน 4 กระบวนการ ดังนี้

กระบวนการ 1 การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน

เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว เพื่อบรรจุวัตถุระเบิดและจึงระเบิดหินปูนหน้างาน หินปูนที่ได้จากการระเบิดจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 80 cm หากเกินกว่านี้จะใช้รถแบคโฮ ตีตบเบลคเกอร์ (Hydraulic Breaker) ทบย่อยหินปูนให้มีขนาดเหมาะสมตามกำหนด

กระบวนการ 2 การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่

หินปูนที่ได้จากการระเบิดและทบย่อยจากกระบวนการ 1 จะถูกชุดและตักใส่รถบรรทุก 10 ล้อ โดยรถแบคโฮ และขนส่งจากหน้าเหมืองไปยังโรงแต่งแร่

กระบวนการ 3 บดย่อยและการคัดแยกหินปูน

เมื่อหินปูนจากหน้าเหมืองมายังโรงแต่งแร่ ขนาดกำลังการผลิต 360ton/hr./station หินปูนจะถูกลำเลียงโดยสายพานเพื่อเข้าเครื่องบดย่อยหินปูนขั้นที่ 1 ซึ่งหินปูนที่ได้จะมีขนาดไม่เกิน

150 mm หลังจากนั้นจะส่งเข้าเครื่อง Vibrating Grizzly Feeder เพื่อบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 25 mm และบดย่อยขั้นสุดท้ายให้มีขนาดเล็กกว่า 10 mm สำหรับเศษหินปูนที่ไม่เป็นไปตามกำหนดจะถูกส่งไปกองรวมกัน ที่อุโมงค์รับหินใหญ่เพื่อรอการจัดต่อไป

กระบวนการ 4 ขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า

หินปูนที่มีขนาดเล็กกว่า 10 mm จะถูกลำเลียงโดยสายพานเข้าสู่เครื่องโปรยแร่ (Stacker) ทำกองเพื่อเตรียมการลำเลียง โดยสายพานป้อนเข้าสู่ไซโลรอการบรรจุลงรถบรรทุก เพื่อขนส่งไปใช้ในระบบ FGD ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะต่อไปโดยใช้สมการ 2 (Li-Ming Wu, 2007)

ตาราง 1 รายละเอียดขอบเขตด้านข้อมูล

ขั้นตอน	ขอบเขตการศึกษา
การวิเคราะห์ค่าพลังงาน จำเพาะ (SEC) (MJ/ton)	วิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน - วิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งเป็นพลังงานที่ใช้โดยตรง (Direct energy consumption) - วิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้โดยอ้อม (Indirect energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต - กระบวนการระเบิดหินปูน วิเคราะห์จาก - วัตถุระเบิดแรงสูง - แอมโมเนียมไนเตรต - แก๊สไฟฟ้า (ทองแดง) - น้ำมันดีเซล (สำหรับผสมระเบิด) - น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร) - น้ำมันหล่อลื่น - การขนหินปูนไปยังโรงแต่งแร่ วิเคราะห์จาก - น้ำมันดีเซล - น้ำมันหล่อลื่น - การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน วิเคราะห์จาก - ไฟฟ้า - จารบี - การขนส่งไปจัดเก็บเพื่อรอส่งเข้าโรงไฟฟ้า วิเคราะห์จาก - น้ำมันดีเซล - จารบี

ตาราง 1 (ต่อ)

ขั้นตอน	ขอบเขตการศึกษา
ก๊าซเรือนกระจก (GHG) (kgCO ₂ eq)	คำนวณหาตัวก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของกระบวนการ 1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 2. การขนหินปูนไปยังโรงแต่งแร่ 3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน 4. การขนส่งไปจัดเก็บเพื่อรอส่งเข้าโรงไฟฟ้า วิเคราะห์จากพลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต
การวิเคราะห์เศรษฐกิจศาสตร์ (บาท)	วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินผลด้านการผลิตหินปูนทั้งหมดของกระบวนการ 1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 2. การขนหินปูนไปยังโรงแต่งแร่ 3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน 4. การขนส่งไปจัดเก็บเพื่อรอส่งเข้าโรงไฟฟ้า โดยวิเคราะห์ต้นทุนก่อนลดการใช้พลังงานและหลังการลดการใช้พลังงาน โดยการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) รวมกับการพิจารณามูลค่าเงินที่เปลี่ยนไปตามเวลา (Time Value of Money) เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และความเป็นไปได้ที่จะตัดสินใจ

วิธีการประเมิน

1. การประเมินค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กระบวนการผลิตหินปูน

การวิเคราะห์พลังงานจำเพาะ (SEC) จะวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน ตั้งแต่กระบวนการระเบิดหินปูน การขนหินปูนไปยังโรงแต่งแร่ การไม่บดย่อยหินปูน และการขนส่งไปจัดเก็บเพื่อรอส่งเข้าโรงไฟฟ้า โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งเป็นพลังงานที่ใช้โดยตรง (Direct energy consumption) เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ไฟฟ้า เป็นต้น และพลังงานที่ใช้โดยอ้อม (Indirect energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต เช่น วัตถุระเบิดแรงสูง แอมโมเนียมไนเตรต แก๊สไฟฟ้า (ทองแดง) น้ำมันดีเซล (สำหรับผสมระเบิด) น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร) น้ำมันหล่อลื่น จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์จุดที่มีการใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพเพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสม โดยการกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์การใช้

พลังงานต่อหน่วยการผลิต ในกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton จะใช้ข้อมูลในรอบการผลิตหินปูน ปี พ.ศ. 2561 โดยใช้สมการ 1 (Li-Ming Wu, 2007)

$$SEC = \sum_i (ED_i + EI_i) \quad (7)$$

โดยที่

SEC คือ ค่าพลังงานการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของทรัพยากร i (MJ/Unit)

ED_i คือ ค่าพลังงานทางตรงที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร i (MJ/Unit)

EI_i คือ ค่าพลังงานทางอ้อมที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร i (MJ/Unit)

ค่าพลังงานทางตรงสามารถหาได้จากปริมาณพลังงานของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต คูณกับค่าพลังงานจำเพาะของทรัพยากรนั้น ๆ ส่วนพลังงานทางอ้อมสามารถหาได้จากการนำ ปริมาณของทรัพยากรที่ใช้คูณกับค่าพลังงานในการขนส่งทรัพยากรนั้น ๆ ซึ่งพลังงานดังกล่าว ได้จากฐานข้อมูล Ecoinvent ในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.0 และวิเคราะห์หาจุดที่มีการใช้ พลังงานอย่างมีนัยสำคัญและหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การเพิ่ม ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

2. การประเมินก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตหินปูน

2.1 การประเมินก๊าซเรือนกระจก จากกระบวนการผลิตหินปูน 4 กระบวนการ การคำนวณค่าก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของกระบวนการ ตามสมการ (8) รายงานผลใน หน่วย kgCO_2eq (Eco-invent, 2007) คำนวณได้ดังสมการที่ (8) (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2555)

$$GHG_i = \sum A_i \times EF_i \quad (8)$$

โดยที่ GHG_i = ผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม (kgCO_2eq)

A_i = ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Unit)

EF_i = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($\text{kgCO}_2\text{eq/Unit}$)

$\square$ = กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3. เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูนสำหรับการลงทุนใน มาตรการหรือแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยนำข้อมูลจากการผลิตหินปูน ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลตลอดอายุของโครงการ เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการดำเนินกระบวนการผลิตหินปูนในกระบวนการผลิตหินปูนทั้ง 4 กระบวนการผลิตหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = S / (1 + i)^n \quad (9)$$

โดยที่

S = มูลค่าของเงิน ที่เป็นค่ากระแสเงินสดสุทธิสำหรับแต่ละปีที่ใช้ในการคำนวณหาค่า NPV ซึ่งค่ากระแสเงินสดนี้ใช้แทนความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายประจำปีของสถานะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ในโครงการกับค่าใช้จ่ายประจำปีของสถานะแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีอยู่

i = อัตราดอกเบี้ย คือ อัตราส่วนลดหรืออัตราผลตอบแทนของการลงทุนในเวลาที่คำนวณค่า NPV ตัวเลือกอื่น ๆ ในการคิดคำนวณอัตราส่วนลด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในส่วนของการลงทุนและอัตราผลตอบแทนของโครงการอื่น ๆ

n = จำนวนปีทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณหาค่า NPV การคำนวณนั้นคิดในแต่ละปีที่ถูกนำมาพิจารณา

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

ในการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการหรืออัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) นั้นคล้ายคลึงกับการคำนวณหาค่า NPV แต่ส่วนที่แตกต่างกันนั้นอยู่ที่ค่าตัวแปร i ค่า IRR ถูกใช้แทนอัตราส่วนลดหรืออัตราส่วนผลตอบแทนการลงทุนของโครงการ

หลักในการตัดสินใจว่าโครงการคุ้มค่านำลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ คือ IRR มีค่าสูง และต้องสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสลงทุน

IRR = ค่า i (อัตราคิดลด) ที่จะทำให้ NPV = 0

ถ้า IRR สูงกว่าค่าเสียโอกาสลงทุน จะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า

ถ้า IRR ต่ำกว่าค่าเสียโอกาสลงทุน จะเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า

ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \quad (10)$$

วิเคราะห์ผลการประเมิน

นำผลการประเมินพลังงานจำเพาะ (SEC) การประเมินก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการผลิตหินปูน มาวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งประเมินความเป็นไปได้ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการลดการใช้พลังงาน การลดต้นทุนของกระบวนการผลิตหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

แนวทางการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหินปูน

นำผลการวิเคราะห์พลังงานจำเพาะ (SEC) และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในการดำเนินกระบวนการผลิตหินปูนในกระบวนการผลิตหินปูนทั้ง 4 กระบวนการ จากนั้นกำหนดแนวทางในการลดการใช้พลังงานของกิจกรรมนั้น ๆ

กระบวนการผลิตหินปูน	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน
1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	ไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้เนื่องจากการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินต้องใช้พลังงานเท่าเดิม เพื่อให้ได้หินปูนเข้าโรงแต่งแร่ 1,929,532.95 ตามเป้าหมายการผลิต
2. การขนหินปูนไปยังโรงแต่งแร่	- แนวทางการลดการใช้พลังงานในกระบวนการขนส่งเข้าโรงแต่งแร่
3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	- แนวทางการลดการใช้พลังงานในการบดย่อยและคัดแยกหินปูน
4. การขนส่งไปจัดเก็บเพื่อรอส่งเข้าโรงไฟฟ้า	- แนวทางการลดการใช้พลังงานในกระบวนการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า

เปรียบเทียบผลการประเมิน

นำผลการประเมินพลังงานจำเพาะ (SEC) การประเมินก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน มาเปรียบเทียบเพื่อหาความแตกต่างก่อนและหลังการใช้แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน

สรุปผลการประเมิน

สรุปผลการประเมินหลังการใช้แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน ได้แก่ ปริมาณการลดการใช้พลังงาน ปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการลดต้นทุนการผลิตหินปูน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยหัวข้อ การวิเคราะห์พลังงานก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐกิจของกระบวนการผลิตหินปูน มีวัตถุประสงค์การวิจัยคือ 1. เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐกิจของกระบวนการผลิตหินปูน 2. เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการลดการใช้พลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐกิจของกระบวนการผลิตหินปูน ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

การประเมินค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กระบวนการผลิตหินปูน

ข้อมูลเบื้องต้นของกระบวนการผลิตหินปูน

ในการศึกษาข้อมูลการผลิตหินปูนของเหมืองหินปูนภายในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะในปี พ.ศ. 2561 พบว่าการผลิตหินปูนจะมีกระบวนการหลักอยู่ 4 กระบวนการ ได้แก่

1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน
2. กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่
3. กระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน
4. กระบวนการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า

เมื่อทำการวิเคราะห์ในแต่ละกระบวนการพบว่าในแต่ละกระบวนการมีกิจกรรมที่ประกอบไปด้วยสารขาเข้าและสารขาออก ซึ่งมีปริมาณและมีผลต่อการใช้พลังงานแตกต่างกัน แสดงผลดังตาราง 1

ตาราง 2 สารขาเข้า-สารขาออก ในกระบวนการผลิตหินปูนปี พ.ศ. 2561

กระบวนการผลิตหินปูน	สารขาเข้า			สารขาออก		
	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	พื้นที่เปิดหน้าเหมือง	150,579.56	m ²	เศษหินจากการเปิดหน้าเหมือง	694,271.778	ton
	วัตถุระเบิดแรงสูง	11,620.00	kg			
	แอมโมเนียมไนเตรด	194,970.00	kg	หิน (เข้าโรงแต่งแร่)	1,929,532.95	ton
	แก๊สไฟฟ้า(ทองแดง)	43,480.65	kg			
	น้ำมันดีเซล (ผสมระเบิด)	10,561.00	l			
	น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร)	722,002.00	l			
	น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l			
2. การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l	เศษหิน รากไม้	498,432.95	ton
	น้ำรดถนน	150,579.56	m ³	หินปูนขนาด 60-80 mm.	1,431,100.00	ton
	น้ำมันดีเซล	292,409.00	l			
	น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l			
	หิน (เข้าโรงแต่งแร่)	1,929,532.95	ton			
3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	น้ำใช้ในโรงโม่	62,266.00	m ³	หิน Waste	122,881.60	ton
	ไฟฟ้า	3,312,160.00	kWh	หิน Reject	11,277.30	ton
	จากรปี	1,961.00	kg	หินปูนขนาด 10 mm.	1,296,941.10	ton
	หินปูนขนาด 60-80 mm.	1,431,100.00	ton			
4. การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	น้ำมันดีเซล	123,978.00	l	หินปูน 10 mm. (เก็บในไซโล)	122,761.53	ton
	จากรปี	1,922.42	kg			
	หินปูนขนาด 10 mm.	1,296,941.10	ton	หินปูน 10 mm. (ส่ง FGD)	1,174,179.57	ton

ในปี พ.ศ. 2561 เหมืองผลิตหินปูนต้องใช้หินปูน 1,929,532.95 ton เพื่อผลิตหินปูนขนาด 10 mm ให้ได้ 1,296,941.10 ton โดยจากการวิเคราะห์แยกกระบวนการตามชนิดของการใช้พลังงาน

สำหรับปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในกระบวนการผลิตหินปูน พบว่ามีการใช้น้ำมันดีเซลซึ่งเรียงลำดับตามปริมาณการใช้จากกระบวนการที่ใช้มากที่สุดไปยังกระบวนการที่มีการใช้น้ำมันดีเซลน้อยที่สุด คือ กระบวนการที่ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน เป็นกระบวนการหลักที่มีการใช้ทรัพยากรจากน้ำมันดีเซลมากที่สุดถึง 732,563 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 63.75 ของการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมด ลำดับถัดมาคือ กระบวนการที่ 2) การขนส่งหิน

เข้าโรงแต่งแร่มีการใช้น้ำมันดีเซล 292,409 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 25.46 และกระบวนการที่ 4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า มีการใช้น้ำมันดีเซล 123,978.00 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 10.79

สำหรับการใช้ไฟฟ้า ซึ่งพบในกระบวนการที่ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน เพียงกระบวนการเดียว โดยมีปริมาณ มากถึง 3,312,160 kWh หรือคิดเป็นอัตราการใช้ไฟฟ้า ต่อหน่วยการผลิต 2.45 – 2.55 kWh/ton หินปูน ซึ่งเป็นการใช้ในเครื่องบดย่อยหินปูน นอกจากนี้จะมีการใช้ทรัพยากรอื่น ๆ รวมด้วย เช่น วัตถุระเบิดแรงสูง แอมโมเนียมไนเตรต แก๊บไฟฟ้า น้ำ น้ำมันหล่อลื่น และจารบี

การวิเคราะห์พลังงานจำเพาะ (SEC) ในการผลิตหินปูน

การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่มีค่าการใช้พลังงาน อย่างมีนัยสำคัญที่จะนำไปสู่การการแสดงผลการใช้พลังงานอย่างในแต่ละกระบวนการ ซึ่งค่า พลังงานในการผลิตหินปูนให้มีขนาดน้อยกว่า 10 mm ปริมาณ 1 ton แสดงดังตาราง 2

ตาราง 3 ค่าพลังงานจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตหินปูน 1 ton ของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561

กระบวนการ ผลิต	รายการ	พลังงานทางตรง		พลังงานทางอ้อม		SEC	
		พลังงาน ต่อหน่วย (Unit/ton)	พลังงาน ทางตรง (MJ)	พลังงาน ต่อหน่วย (Unit/ton)	พลังงาน ทางอ้อม (MJ)	(MJ)	%
1. การเปิดพื้นที่ ทำเหมืองและการ เจาะระเบิดหิน	วัตถุระเบิดแรงสูง	8.96E-03	0.57	1.00E-05	0.03	0.60	0.77
	แอมโมเนียมไนเตรด	0.15	9.72	1.50E-04	0.29	10.01	12.78
	แก๊บไฟฟ้า (ทองแดง)	0.03	3.25	3.00E-05	0.10	3.35	4.28
	น้ำมันดีเซล (สำหรับผสมระเบิด)	8.14E-03	0.32	1.00E-05	0.01	0.33	0.42
	น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร)	0.56	21.72	4.50E-04	0.85	22.57	28.82
	น้ำมันหล่อลื่น	8.63E-03	0.72	1.00E-05	0.01	0.74	0.94
ผลรวมพลังงานกระบวนการ 1			36.30		1.29	37.59	48.01
2. การขนส่งหิน เข้าโรงแต่งแร่	น้ำมันดีเซล	0.23	8.80	1.00E-05	0.34	9.14	11.67
	น้ำมันหล่อลื่น	3.50E-03	0.29	1.50E-04	0.01	0.30	0.38
ผลรวมพลังงานกระบวนการ 2			9.09		0.35	9.44	12.05

ตาราง 3 (ต่อ)

กระบวนการ ผลิต	รายการ	พลังงานทางตรง		พลังงานทางอ้อม		SEC	
		พลังงาน ต่อหน่วย	พลังงาน ทางตรง	พลังงาน ต่อหน่วย	พลังงาน ทางอ้อม	(MJ)	%
		(Unit/ton)	(MJ)	(Unit/ton)	(MJ)		
3. การบดย่อย	ไฟฟ้า	2.55	27.15	2.55382	–	27.15	34.67
และการคัดแยก	จารบี	1.51E-03	0.13	1.40E-06	2.60E-03	0.13	0.17
หินปูน							
ผลรวมพลังงานกระบวนการ 3			27.28		2.60E-03	27.28	34.84
4. การขนส่ง	น้ำมันดีเซล	0.10	3.73	8.00E-05	0.15	3.88	4.95
หินปูนเข้าสู่	จารบี	1.48E-03	0.12	1.30E-06	2.55E-03	0.13	0.16
โรงไฟฟ้า							
ผลรวมพลังงานกระบวนการ 4			3.85		0.15	4.00	5.11
ผลรวมพลังงานทั้งกระบวนการ			76.52		1.79	78.31	100.00

ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton มีค่าเท่ากับ 78.31 MJ โดยพบว่ามาจากการใช้พลังงานทางตรงเท่ากับ 76.52 MJ คิดเป็นร้อยละ 97.71 และมาจากพลังงานทางอ้อมเท่ากับ 1.79 MJ คิดเป็นร้อยละ 2.29 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานจากทางตรงเป็นหลัก กระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินมี การใช้พลังงานเท่ากับ 37.59 MJ ถัดมาคือการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ใช้พลังงานเท่ากับ 27.28 MJ การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ใช้พลังงานเท่ากับ 9.44 MJ และการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าใช้พลังงานเท่ากับ 4.00 MJ เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานแยกรายทรัพยากร พบว่า พลังงานในการใช้ไฟฟ้าของกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนเท่ากับ 27.15 MJ มีค่ามากที่สุด ลำดับถัดมาคือ พลังงานจากการใช้น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร) ในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินเท่ากับ 21.72 MJ และลำดับที่ 3 คือ พลังงานจากการใช้ แอมโมเนียมไนเตรดเท่ากับ 9.72 MJ ในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน เช่นเดียวกันผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับการวิจัยของ Kittipongvises S, 2017 ที่ทำการศึกษา ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการระเบิดหินปูนในประเทศไทย ในปริมาณ 1 ton ต้องการ ใช้พลังงาน 79.60 MJ โดยกระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ กระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน ใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรหนักมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 48.01 ของพลังงานทั้งหมด กระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และกระบวนการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า มีการใช้ พลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.83, 12.05 และ 5.11 ของการใช้พลังงานทั้งหมดตามลำดับ

ส่วนทรัพยากรที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดอยู่ในกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน คือ การใช้ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 34.67 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ (Liu F, et al., 2015) ที่ศึกษาการใช้พลังงานในการผลิตหินปูนพบว่าไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการมากที่สุด เช่นกัน

การประเมินก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตหินปูน

ข้อมูลที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการผลิตหินปูนโดยใช้ข้อมูลการผลิตหินปูนของเหมืองหินปูนภายในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะในปี พ.ศ. 2561 พบว่าวิเคราะห์จากพลังงานที่ใช้ในการได้มาซึ่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตดังตาราง นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้สมการผลรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรม ในสมการที่ (3) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดย (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2555) อ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก Emission Factor : EF จาก Intergovernmental Panel on Climate (IPCC, 2013) จะได้ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม ดังตาราง 11 ดังนี้

ตาราง 4 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้ง 4 กระบวนการในการผลิตหินปูน

กระบวนการ	ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	หน่วย	ค่า EF	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก		อ้างอิงข้อมูลค่า EF
					kgCO ₂ eq	tCO ₂ eq	
1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	แอมโมเนียมไนเตรด	194,970.00	kg	8.4819	1,653,716.04	1,653.72	IPCC
	Diesel (ผสมระเบิด)	10,561.00	L	2.7078	28,597.08	28.60	IPCC
	Diesel (ผสมเครื่องจักร)	722,002.00	L	2.7078	1,955,037.02	1,955.04	IPCC
2. การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	Diesel	292,409.00	L	2.9793	871,174.13	871.17	IPCC
	น้ำรถถนน	150,579.56	m ³	0.5410	81,463.54	81.46	IPCC
3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	ไฟฟ้า	3,244,946.03	kWh	0.4999	1,622,148.52	1,622.15	IPCC
	น้ำโรงโม่	62,266.00	m ³	0.5410	33,685.91	33.69	IPCC
4. การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	Diesel	123,978.00	L	2.9793	369,367.66	369.37	IPCC
รวม					6,648,790.16	6,648.79	

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ ก่อนมีการลดการใช้พลังงานต่อปี

กระบวนการ	ชนิดเชื้อเพลิงหลัก	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	ค่า EF	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ eq)	อ้างอิงข้อมูลค่า EF
1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	Diesel	732,563	L	2.7406	2,007,662	IPCC
2. การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	Diesel	292,409	L	2.7406	801,376	IPCC
3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	ไฟฟ้า	3,244,946	kWh	0.4999	1,622,148.52	IPCC
4. การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	Diesel	123,978	L	2.7406	339,774	IPCC
รวม					4,770,961	

จากตาราง 8 พบว่าแต่ละกระบวนการการผลิตหินปูนมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมแตกต่างกัน โดยกระบวนการแรกคือการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก คำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 2,007 ตัน/ปี กระบวนการที่ 2 คือการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเช่นเดียวกัน คำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 801 ตัน/ปี กระบวนการที่ 3 คือการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก คำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 2,459 ตัน/ปี และกระบวนการที่ 4 คือการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก คำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 339 ตัน/ปี .

เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน

ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน 4 กระบวนการ ได้แก่ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตาราง 6 ข้อมูลด้านการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ก่อนการลดการใช้พลังงาน

ลำดับ	รายการ	ต้นทุน ก่อนการ ลดการใช้พลังงาน (บาท)
1	การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	20,766,940
2	การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	8,289,308
3	การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	20,185,558
4	การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	3,514,570
รวม		52,756,376

ในปี 2561 ราคาน้ำมันดีเซล (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2561) ราคาเฉลี่ยลิตรละ 28.35 บาท และราคาไฟฟ้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2561) หน่วยละ 4.1025 บาท จากผลการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหินปูนพบว่ากระบวนการการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนใช้พลังงานไฟฟ้า 2.48 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน คิดราคาต้นทุนการผลิตหินปูนจำนวน 1,929,532 ตัน เท่ากับ 20,185,558 บาท ส่วนกระบวนการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงโม่ใช้น้ำมันดีเซลจำนวน 292,409 ลิตร คิดเป็นต้นทุน 8,289,308 บาท และกระบวนการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าใช้น้ำมันดีเซลจำนวน 123,978 ลิตร คิดเป็นต้นทุนเท่ากับ 3,514,570 บาท

แนวทางการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหินปูน

1. กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่และขนส่งหินปูนเพื่อรอเข้าโรงไฟฟ้า

สาเหตุที่รถบรรทุกจอดรอเกิดจาก 1) รถดักหินปูนชำรุดขณะปฏิบัติงาน ทำให้ไม่สามารถดักหินปูนใส่รถบรรทุกเพื่อขนส่งไปยังโรงโม่ได้ 2) ระบบโรงโม่ชำรุด เช่น ลูกกลิ้งแตก สายพานแตก มอเตอร์พัง ฯ ทำให้ไม่สามารถบดย่อยหินปูนตามแผนงานได้ ทำให้รถบรรทุกต้องจอดรอ แนวทางการแก้ไขคือออกแบบแอปพลิเคชันแจ้งเตือนคนขับรถบรรทุกหากสตาร์ทรถจอดนานเกิน 10 นาที และหากคนขับรถไม่ดับเครื่องภายใน 5 นาที ระบบจะปิดเครื่องยนต์

ให้อัตโนมัติ โดยหลักการทำงานคือ ติดตั้ง GPS ในรถบรรทุก และแอปพลิเคชันลงในอุปกรณ์ควบคุมการติดเครื่องยนต์ ระบบจะตรวจจับเวลาการจอดรถหากจอดนานเกิน 10 นาที ระบบจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์ที่ติดอยู่ภายในรถบรรทุกเพื่อแจ้งให้คนขับดับเครื่องยนต์ หากคนขับไม่ดับเครื่องยนต์ภายใน 3 นาที ระบบจะปิดเครื่องยนต์อัตโนมัติจะสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 85,758 l/yr. กระบวนการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าโดยใช้รถบรรทุกขนาด 25 ton (อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 12 l) ซึ่งมีการจอดรอเฉลี่ย 30 นาที ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แนวทางการลดการจอดรอของรถขนส่งหินให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 7,600 l/yr



ภาพ 10 รถบรรทุกขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงโม่

ที่มา: เหมืองหินปูน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2566

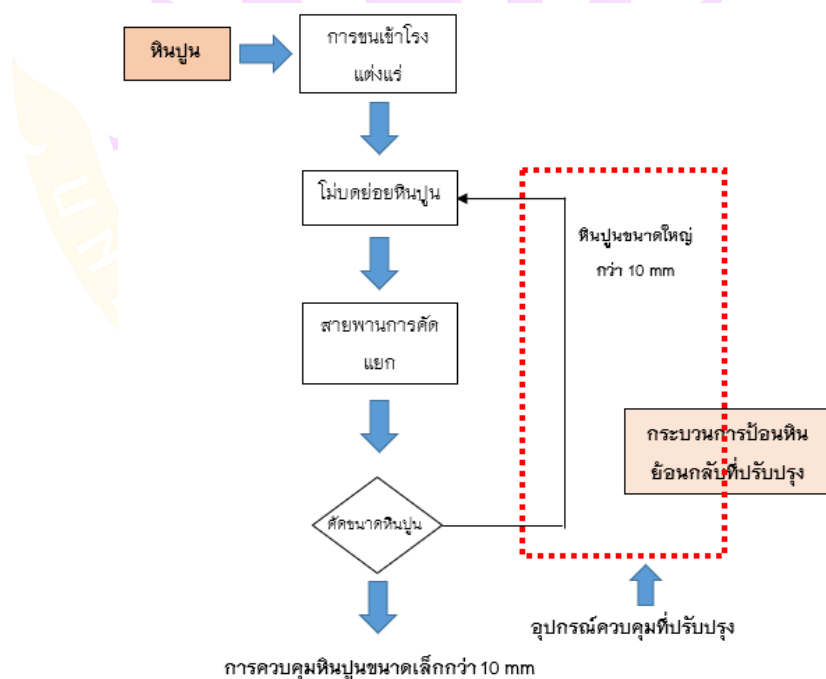
2. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน

ปัญหาของการใช้พลังงานในกระบวนการบดย่อย และคัดแยกหินปูน เข้าโรงแต่งแร่ปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการใช้พลังงานในแต่ละรอบการผลิตของกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนคืออัตราหินที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm.) ทำให้เกิดการป้อนย้อนกลับ (Return) มากซึ่งจากการสุ่มตรวจวัดระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าและอัตราหิน

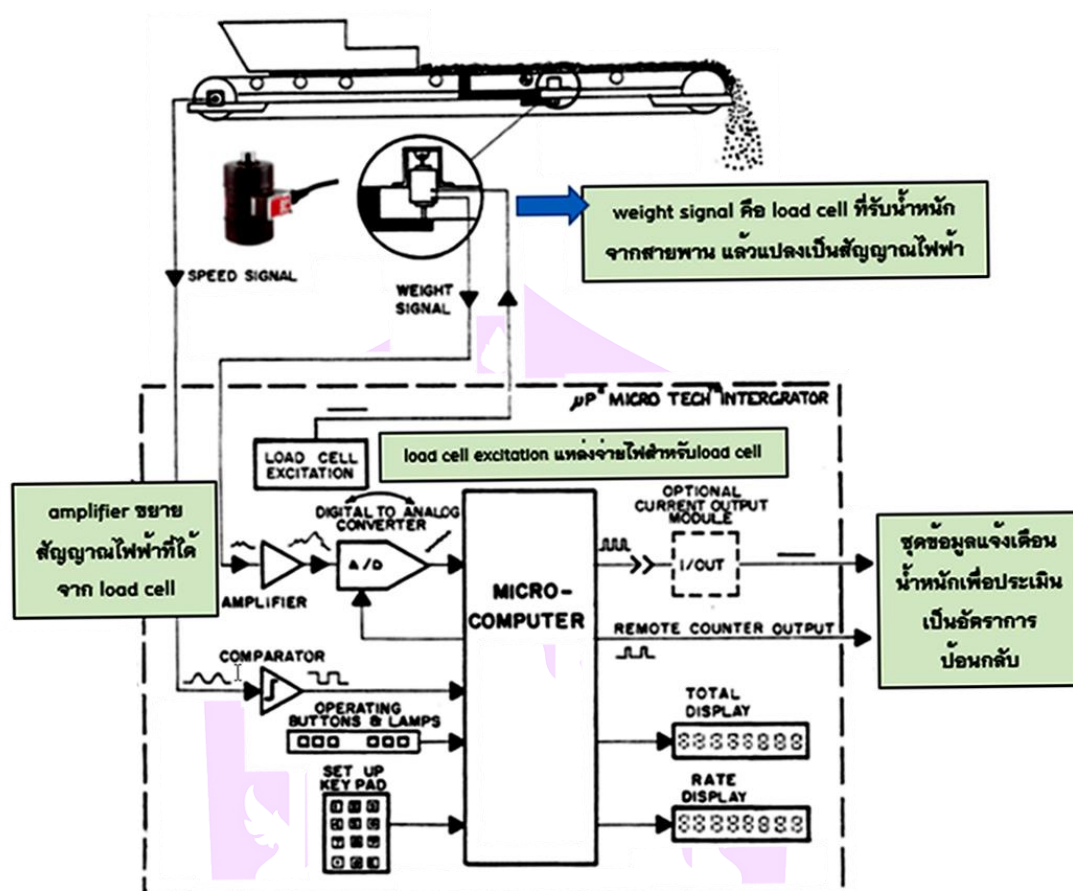
ย้อนกลับ พบว่ามีอัตราการป้อนย้อนกลับที่สูง มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง และมีอัตราหินที่ได้มาตรฐาน (ขนาดเล็กกว่า 10 mm.) อัตราการผลิตน้อย

โดยปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งระบบควบคุมน้ำหนัก (Belt Weighers) ของหินที่ไม่ได้มาตรฐานบริเวณด้าน สายพานป้อนย้อนกลับ (Return) ซึ่งจะส่งผลให้มีการควบคุมอัตราการป้อนกลับซึ่งทางโรงไฟฟ้าแม่เมาะกำหนดให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินร้อยละ 20 และสามารถลดอัตราหินป้อนย้อนกลับต่ำ มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย และมีอัตราหินที่ได้มาตรฐาน (ขนาดเล็กกว่า 10 mm.) อัตราการผลิตมากขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตหินปูน ในด้านลดค่าใช้จ่ายการประหยัดพลังงาน ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสามารถนำมาประเมินผลการลงทุนด้านเศรษฐศาสตร์

ในกระบวนการบดย่อยและคัดแยกหินปูนจะอยู่ในกระบวนการที่ 3 ของกระบวนการผลิตหินปูน เพื่อต้องการหินปูนที่มีขนาดไม่ใหญ่เกิน 10 mm. ป้อนเข้าโรงไฟฟ้าในการใช้เป็นตัวดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) ของโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หากหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 mm. จะถูกนำกลับมาบดย่อยและคัดแยกใหม่ โดยมีระบบสายพานป้อนกลับจะทำให้มีการทำงานของโรงโม่บดย่อยและคัดแยกทำงานหลาย ๆ รอบ ใช้เวลาเยอะขึ้นทำให้เกิดการใช้พลังงานมากขึ้น



ภาพ 11 โครงสร้างกระบวนการการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่และบดย่อยคัดแยกหินปูน



ภาพ 12 วงจรการทำงานของอุปกรณ์ปรับปรุง

ที่มา: เหมือนแม่เกาะ อำเภอแม่เกาะ จังหวัดลำปาง

ตาราง 7 หลักการทำงาน ของระบบตรวจจับและแสดงน้ำหนักของหินป้อนกลับ

อุปกรณ์	หน้าที่ของอุปกรณ์	ราคามาตรฐาน (บาท)	ที่มา
1. Belt Scale	รับน้ำหนักจากสายพานลำเลียง		https://www.globalttestsupply.com
2. Load cell	ตรวจจับปริมาณของน้ำหนักด้วยแรงกดลงบนตัวของ Load cell โดยสัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของแรงดันและส่งต่อไปยังตัวควบคุมเพื่อแสดงผล	1,316,859.00	
3. Speed Sensor	วัดความเร็วรอบการหมุนของสายพานเพื่อนำความเร็วที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Belt Scale เป็นปริมาตร ต่อ ความเร็ว เป็นอุปกรณ์รวมสัญญาณระหว่าง Belt Scale กับ Speed Sensor โดยมี Controller เป็นตัวประมวลผลกลางซึ่งจะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านขาออก Output พร้อมทั้งแสดงผลการทำงานของระบบและค่าน้ำหนักที่ได้ผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดี	15,912.84	https://th.element14.com
4. Integrator	เป็นตัวประมวลผลกลางซึ่งจะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านขาออก Output พร้อมทั้งแสดงผลการทำงานของระบบและค่าน้ำหนักที่ได้ผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดี	276,813.00	https://www.alibaba.com
5. A/D คือ analog to digital converter	แปลงสัญญาณไฟฟ้า (voltage) ให้เป็นสัญญาณ ดิจิตอล digital ส่งให้ microcomputer	21,020.00	https://www.digikey.co.th
6. Speed Signal	เป็นสัญญาณจาก sensor วัดความเร็วสายพานส่งต่อให้ Micro-Computer นำความเร็วที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่า Weight signal เป็นปริมาณต่อความเร็ว	208,043.00	https://www.alibaba.com

ตาราง 7 (ต่อ)

อุปกรณ์	หน้าที่ของอุปกรณ์	ราคามาตรฐาน (บาท)	ที่มา
7. Micro-Computer	เป็นอุปกรณ์รวมสัญญาณระหว่าง Belt Scale กับ Speed Sensor โดยมี Controller เป็นตัวประมวลผลกลางซึ่งจะควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านขาออก OUTPUT พร้อมทั้งแสดงผลการทำงานของระบบและค่าน้ำหนักที่ได้ผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดี (LCD Display) แสดงผล rate display หรือ flow rate คือ ค่าการไหลผ่านของวัตถุ T/h ตันต่อชั่วโมง	88,700.00	https://www.serverprothai.com
8. monitor (display)	และ total display หรือ total weight คือ น้ำหนักรวมทั้งหมด จากนั้นจึงส่งต่อชุดข้อมูลไปยังอุปกรณ์ PLC หรือ Computer เพื่อบันทึกข้อมูล	8,585.00	https://www.amet.co.th
รวมเป็นเงิน		1,935,932.84	

ระบบที่ปรับปรุงได้แก่ ระบบสายพานลำเลียงหินปูนส่วนของหินป้อนกลับ โดยระบบที่ปรับปรุงคือการตรวจจับน้ำหนักของหินปูน (Belt Weighers for Heavy Materials) ปรับปรุงโดยการติดตั้งชุดโครงสร้างเหล็กที่ใช้สำหรับติดตั้ง Load cells จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับติดตั้ง Roller Conveyor ด้านบน Speed Sensor Encoder เพื่อติดตั้งบนสายพานเพื่อใช้สำหรับวัดความเร็วสายพาน กล่องรวมสัญญาณ Load cells เพื่อรวมค่าสัญญาณจาก Load cells ทั้งสองตัวให้มีระดับสัญญาณที่พอดีกันก่อนส่งให้ Weigh Belt Controller.

Weight Belt Controller เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าน้ำหนักจาก Load cell เพื่อประมวลผลออกมาเป็นค่าน้ำหนักโดยใช้วิธีการ Integrate กันระหว่างกราฟของน้ำหนักและความเร็วสายพาน โดยแสดงค่าออกมาเป็นค่าน้ำหนักแบบ Real Time (kg/meters), Flow rate (T/H), Total Weight (Ton or Kg) มีพอร์ตเชื่อมต่อสำหรับ PLC ให้เลือกใช้หลากหลาย เช่น Analog 4–20mA, RS485(MODBUS), PROFIBUS, PROFINET, ETHERNET/IP, CAN open เป็นต้น

โดยค่าการใช้พลังงานหลักของกระบวนการนี้มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของ การไม่บดย่อยหินปูน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อหลักของการใช้พลังงานไฟฟ้า นั่นคือ

“อัตราการผลิตหินปูนและร้อยละของการบ้อนหินย้อนกลับ” ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เพื่อควบคุมขนาดหินที่ไม่ได้ขนาด (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm) โดยความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าต่อการผลิตหินปูน (Specification Energy Consumption, SEC) จากการสุ่มเก็บข้อมูลเบื้องต้นสามารถแสดงชุดของข้อมูลและความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดังนี้

โดยค่า SEC ของการผลิตหินปูนจะสอดคล้องกับปัจจัยของอัตราการผลิตหินปูนเป็นหลัก โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้บดม่หินเป็นหลัก โดยเวลาที่ใช้ในการม่จะขึ้นกับอัตราการบ้อนหินปูนวัตถุดิบ โดยการบ้อนหินปูนจะมากขึ้นเมื่อต้องผสมกับหินย้อนกลับที่ไม่ได้ขนาด ซึ่งส่งผลทำให้ต้องใช้เวลานานมากขึ้นในการม่ ส่งผลต่อเวลาในการม่ที่มากขึ้น และพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในภาพรวม

ตาราง 8 แสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยอัตราการผลิตหินปูนและอัตราหินย้อนกลับของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561

อัตราการผลิต (Ton/hr)	อัตราหินย้อนกลับ		อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ton)
	(Ton/hr)	ร้อยละ	
237.35	76.70	32.32	2.61
237.48	79.76	33.59	2.70
238.25	74.77	31.38	2.68
241.06	75.86	31.47	2.59
241.96	75.51	31.21	2.65
243.43	75.13	30.86	2.62
247.62	71.95	29.06	2.53
248.40	72.63	29.24	2.54
249.16	78.92	31.67	2.58
249.61	79.56	31.87	2.60
255.27	78.76	30.85	2.52
255.61	77.34	30.26	2.59
257.11	78.63	30.58	2.64
257.62	81.46	31.62	2.57
257.94	80.04	31.03	2.62
258.07	73.08	28.32	2.48
259.62	77.06	29.68	2.56
262.94	71.93	27.36	2.58
264.83	75.14	28.37	2.48

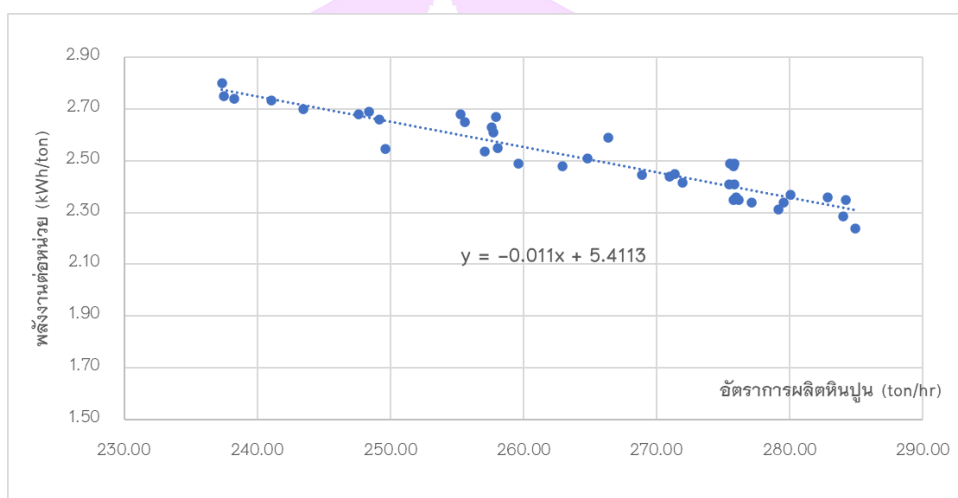
ตาราง 8 (ต่อ)

อัตราการผลิต (Ton/hr)	อัตราหินย้อนกลับ		อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ton)
	(Ton/hr)	ร้อยละ	
265.12	78.06	29.44	2.56
266.36	72.84	27.35	2.59
268.91	67.19	24.99	2.45
264.67	57.15	21.59	2.46
270.99	66.88	24.68	2.33
271.33	67.16	24.75	2.32
273.95	69.38	25.51	2.32
275.78	63.95	23.19	2.21
277.11	66.37	23.95	2.31
278.76	61.09	21.91	2.33
279.13	69.69	24.97	2.38
279.56	69.31	24.79	2.54
280.03	60.02	21.43	2.40
281.55	71.55	25.41	2.20
282.82	63.23	22.36	2.27
283.23	66.36	23.43	2.33
283.99	62.50	22.01	2.28
284.19	60.58	21.32	2.25
284.56	67.76	23.81	2.25
284.90	63.03	22.12	2.31
ผลเฉลี่ย		21.48	2.45

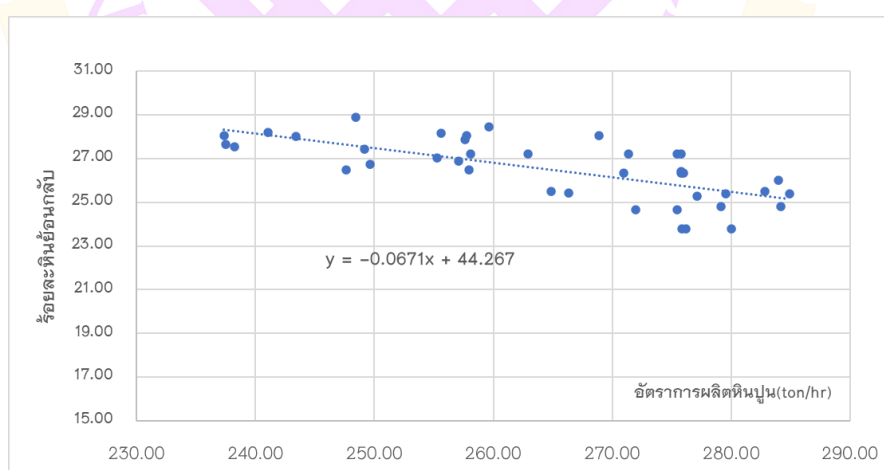
จากชุดข้อมูลในตารางพบว่ามีอัตราการป้อนย้อนกลับเฉลี่ยที่ร้อยละ 21.48 โดยมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 2.45 kWh/ตัน และมีอัตราหินที่ได้มาตรฐาน(ขนาดเล็กกว่า 10 mm) อัตราการผลิตหินปูนเฉลี่ย 263.74 ตันต่อชั่วโมง (tn/h) จากการประเมินของชุดข้อมูลดังกล่าว เมื่อกำหนดอัตราของวัตถุดิบหินปูนเท่ากัน การควบคุมร้อยละของหินย้อนกลับจะส่งผลต่ออัตราการผลิตหินปูนและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นเครื่องมือสำหรับการช่วยกำหนดเป้าหมายในการควบคุม

ข้อสังเกตจากข้อมูลในตารางแสดงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยอัตราการผลิตหินปูนและอัตราหินย้อนกลับของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

ต่อต้านการผลิตหินปูนมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออัตราการผลิตที่มากขึ้น และเมื่อนำข้อมูลทั้งสองมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ แล้วทำการสร้างสมการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น จะได้ผลดังภาพ 13 เช่นเดียวกันกับความสัมพัทธ์ระหว่างข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตหินปูนและอัตราหินย้อนกลับ ที่มีลักษณะเดียวกัน เมื่อนำข้อมูลจากตารางมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ พร้อมทั้งสร้างสมการความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น จะได้ดังภาพ 14



ภาพ 13 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตต่อชม.และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อการผลิตหินปูน



ภาพ 14 ความสัมพันธ์ของอัตราการผลิตต่อชม.และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อการผลิตหินปูน

เมื่อนำความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าวที่แสดงในรูป 2 และ 3 มาพยากรณ์เป็น SEC ของการผลิตหินปูน โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตหินปูนกับค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตหินปูนกับอัตราการย้อนกลับของหินปูน เป็นดังสมการ 11 และ 12

$$Y_1 = -0.011X_1 + 5.4113 \quad (11)$$

$$Y_2 = -0.0671X_2 + 44.267 \quad (12)$$

โดยที่

X_1 คือ อัตราการผลิตหินปูน (ตันต่อชั่วโมง)

Y_1 คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน)

Y_2 คือ อัตราการย้อนกลับของหินปูน (ร้อยละ)

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตหินปูนกับค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ได้ในสมการที่ (1) เมื่อทำการทดลองแทนค่าอัตราการผลิตหินปูนในระดับต่าง ๆ พร้อมทั้งควบคุมอัตราการย้อนกลับของหินปูน ด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตหินปูนกับอัตราการย้อนกลับของหินปูนในสมการ 2 เพื่อนำไปพยากรณ์หาค่าอัตราการผลิตหินปูนและการควบคุมอัตราการย้อนกลับของหินปูนที่เหมาะสม ได้ตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 9 การพยากรณ์การพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตหินปูนและร้อยละหินย้อนกลับที่อัตราการผลิตหินปูน

การผลิตหินปูน (ตัน/ชม.)	พยากรณ์ SEC (kWh/ตัน)	พยากรณ์ร้อยละหินย้อนกลับ	การผลิตหินปูน (ตัน/ชม.)	พยากรณ์ SEC (kWh/ตัน)	พยากรณ์ร้อยละหินย้อนกลับ
250	2.9113	27.517	288	2.5313	23.971
252	2.8913	27.383	290	2.5113	23.468
254	2.8713	27.249	292	2.4913	22.367
256	2.8513	27.115	294	2.4713	22.217
258	2.8513	26.981	296	2.4513	22.067
260	2.8113	26.847	298	2.4313	21.917
262	2.7913	26.713	300	2.4113	21.767
264	2.7713	26.579	302	2.3913	21.617
266	2.7513	26.445	304	2.3713	21.467
268	2.7313	26.311	306	2.3513	21.317
270	2.7313	26.177	308	2.3313	21.167

ตาราง 9 (ต่อ)

การผลิต หินปูน (ตัน/ ชม.)	พยากรณ์ SEC (kWh/ตัน)	พยากรณ์ร้อยละ ละหิน ย้อนกลับ	การผลิต หินปูน (ตัน/ ชม.)	พยากรณ์ SEC (kWh/ตัน)	พยากรณ์ร้อยละ หินย้อนกลับ
272	2.6913	26.043	310	2.3113	21.017
274	2.6713	25.909	312	2.2913	20.867
276	2.6513	25.775	314	2.2713	20.717
278	2.6313	25.541	316	2.2513	20.567
280	2.6113	25.207	318	2.2313	20.417
282	2.5913	24.873	320	2.2113	20.267
284	2.5713	24.639	322	2.1113	20.117
286	2.5513	24.105	324	2.1013	19.967

ผลที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตหินปูนกับค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ในสมการ (11) เมื่อทำการทดลองแทนค่าอัตราการผลิตหินปูนในระดับต่าง ๆ พร้อมทั้งควบคุมอัตราการย้อนกลับของหินปูน ด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตหินปูนกับอัตราการย้อนกลับของหินปูนในสมการ (12) ผลที่ได้คือ การกำหนดค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตหินปูน คือ การผลิตที่ 324 ตันต่อชั่วโมง (tn/h) และควบคุมอัตราการย้อนกลับที่ร้อยละ 19.97 จะทำให้ค่าการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตเหลือเพียง 2.10 kWh/ton

เปรียบเทียบผลการประเมิน

1. การประเมินค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กระบวนการผลิตหินปูน หลังใช้แนวทางการลดการใช้พลังงาน

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดย SEC พบว่า กิจกรรมที่ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและเหมืองผลิตหินปูนสามารถดำเนินการลดการใช้พลังงาน ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน การใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องจักรในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินและการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า โดยผลของการดำเนินกิจกรรมการลดการใช้พลังงานและแนวทางในการลดการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ แสดงในตาราง 10

ตาราง 10 แสดงผลของการดำเนินกิจกรรมการลดการใช้พลังงานและแนวทางในการลดการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ

กระบวนการ	SEC		อัตราการลด* (%)	ปัญหาและแนวทางการแก้ไข
	ก่อนลดการใช้พลังงาน (MJ)	หลังลดการใช้พลังงาน (MJ)		
1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	37.59	37.59	-	-
2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	9.44	6.86	27.33%	การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 25 ton (น้ำหนักบรรทุกหินจริง 22.5 ton) ในการขนหินที่ขุดเจาะได้เข้าโรงแต่ง พบว่า ในปี 2561 มีการขนหินทั้งหมดปริมาณกว่า 1,929,532 ton และมีจำนวนการขนหินมากกว่า 85,758 เที่ยว โดยรถขนหินนั้นจะต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 20 นาที ซึ่งเหมือนได้มีการบริหารจัดการการเดินรถขนหินและมีเป้าหมายในการลดเวลารอให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 85,758 l/yr. อัตราหินที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm.) ของรอบการผลิตปี 2561 มีอัตราหินบ้อนย้อนกลับ (Return) ร้อยละ 30-40 เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของค้อนบดย่อยลดลงเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการบำรุงรักษาค้อนบดย่อยอย่างสม่ำเสมอ ควบคุมการอัตราหินบ้อนย้อนกลับให้อยู่ในระดับไม่เกินร้อยละ 20 จะทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต จาก 2.48 kWh/ton เหลือเพียง 2.11 kWh/ton
3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	27.28	24.58	9.89%	ในการขนหินขนาด 10 mm. จากไซโลไปยังระบบ FGD ต้องใช้รถบรรทุกโดยมีขนาด 25 ton (อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 12 l) ซึ่งรถบรรทุกต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 30 นาที ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แนวทางการลดการจอดรอของรถขนหินให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 7,600 l/yr.
4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	4.00	3.77	5.75%	
รวม	78.31	72.80	7.03%	

หมายเหตุ: * เป็นอัตราการลดเทียบกับค่าเดิมของกระบวนการนั้น ๆ

จากผลการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูนโดยประเมินการลดการใช้พลังงานทั้ง 4 กระบวนการ พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานรวมจาก 78.31 MJ เหลือ 72.80 MJ ซึ่งคิดเป็น 7.03% จากแนวทางดังต่อไปนี้

จากการวิเคราะห์พบว่ากระบวนการที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดคือกระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ สามารถลดการใช้พลังงานจาก 9.44 MJ เหลือ 6.86 MJ คิดเป็น 27.33% กระบวนการการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกระบวนการบดไม่หินที่ 8.928 MJ/ตัน เหลือ 7.596 MJ คิดเป็น 15% ของต้นทุนกระบวนการโดยการควบคุมกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนมีอัตราหินที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm) บ้อนย้อนกลับ (Return) ให้ไม่เกินร้อยละ 20 จากการควบคุมน้ำหนักโดยติดตั้งเครื่อง (Belt Weighers) สามารถควบคุมอัตราหินบ้อนย้อนกลับให้อยู่ในระดับไม่เกินร้อยละ 20 กระบวนการการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า สามารถลดการใช้พลังงานจาก 4.00 MJ เหลือ 3.77 MJ คิดเป็น 5.75% ตามลำดับ

ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ว่าในขั้นตอนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นกิจกรรมการขนส่งและมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงทั้งหมด รวมทั้งปริมาณการบรรทุก และขนาดบรรทุกของรถ แต่ก่อนการลดการใช้พลังงานงานยังมีการใช้พลังงานที่ต่างกัน ถึง 5.44 MJ และหลังการลดการใช้พลังงาน ยังมีการใช้พลังงานที่ต่างกัน ถึง 3.09 MJ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ระยะทางในการขนส่งที่ไม่เท่ากัน แนวทางการลดการจอดรอของรถขนหิน และรูปแบบหรือลักษณะการจัดการคิวรถ เป็นต้น

2. การประเมินก๊าซเรือนกระจกกระบวนการผลิตหินปูน หลังใช้แนวทางการลดการใช้พลังงาน

จากการเก็บข้อมูลการบดหินในแต่ละเดือน สามารถประเมินเป็นผลการประหยัดพลังงานจากการดำเนินการมาตรการได้ดังนี้

ตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ
หลังมีการลดการใช้พลังงานต่อปี

กระบวนการ	ชนิดเชื้อเพลิงหลัก	ปริมาณที่ลดได้	หน่วย	ค่า EF	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ (kgCO ₂ eq)	อ้างอิงข้อมูลค่า EF
1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	Diesel	-	L	2.7406	-	IPCC
2. การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	Diesel	85,758	L	2.7406	235,028	IPCC
3. การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	ไฟฟ้า	486,741.91	kWh	0.4999	243,322	IPCC
4. การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	Diesel	7,600	L	2.7406	20,829	IPCC
รวม					499,179	

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ หลังมีการลดการใช้พลังงาน ดังแสดงในตาราง 9 พบว่า กระบวนการที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นพลังงานหลัก 2 กระบวนการได้แก่ กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และกระบวนการขนส่งหินเข้าสู่โรงไฟฟ้า สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นปริมาณ CO₂ เทียบเท่าได้เท่ากับ 235 ตัน/ปี และ 20 ตัน/ปี ตามลำดับ ลดลงจากเดิมที่มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 801 ตัน/ปีและ 339 ตัน/ปี ตามลำดับส่วนกระบวนการการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนที่ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักสามารถลดค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคิดเป็นปริมาณ CO₂ เทียบเท่าได้เท่ากับ 241 ตัน/ปีจากเดิมมีค่าการปลดปล่อย 2,459 ตัน/ปี โดยแตกต่างกับผลการศึกษาของอาทิตมา, 2559 ได้ประเมินก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กรของหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง ผลการวิจัยพบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาจากการทำเหมืองหินปูนมีค่าประมาณ 1,457.61 และ 1,753.73 tCO₂eq ในปี 2557 และ 2558 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้แต่ละกระบวนการมีความแตกต่างกันโดยกระบวนการที่

ไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้คือ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน จึงไม่สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมนี้ได้เช่นกัน

เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการในการผลิตหินปูนพบว่า ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในการผลิตหินปูนก่อนการลดการใช้พลังงานปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 6,648,790.16 kgCO₂eq หลังจากลดการใช้พลังงานพบปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเท่ากับ 6,149,611.16 kgCO₂eq ซึ่งสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ร้อยละ 7.51 โดยขั้นตอนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ถึง 1,955,037.02 kgCO₂eq และขั้นตอนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ร้อยละ 26.98 (235,028 kgCO₂eq) รองลงมาคือ การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ร้อยละ 26.98 (243,322 kgCO₂eq)

ตาราง 12 การประเมินผลการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซเรือนกระจก

ลำดับที่	อัตราการผลิต (ton/เดือน)	ประเมินการใช้ไฟฟ้า (kWh)		ผลประหยัด พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ton CO ₂ eq
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
1	114,916.86	248,648.21	241,950.98	42,697.23	21.34
2	104,415.33	258,636.00	219,840.60	38,795.40	19.39
3	113,562.66	281,293.87	239,099.79	42,194.08	21.09
4	103,011.90	255,159.72	216,885.76	38,273.96	19.13
5	105,615.15	261,607.93	222,366.74	39,241.19	19.62
6	109,831.20	272,051.06	231,243.40	40,807.66	20.40
7	106,895.98	264,780.54	225,063.46	39,717.08	19.85
8	105,015.33	260,122.19	221,103.86	39,018.33	19.51
9	115,436.09	285,934.33	243,044.18	42,890.15	21.44
10	112,708.45	279,178.00	237,301.30	41,876.70	20.93
11	106,225.22	263,119.08	223,615.22	39,467.86	19.73
12	112,400.46	278,415.10	236,652.84	41,762.27	20.88
รวม		3,244,946.03	275,8204.13	486,741.91	243.32

เมื่อประเมินผลการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้า และก๊าซเรือนกระจกพบว่า มีการลดลงของการใช้ไฟฟ้าทุกเดือน ดังตาราง พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าถึง

486,741.91 kWh/ปี สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับ 243.32 ton Co₂eq

3. เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน

หลังจากที่มีการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหินปูนแล้ว ได้ทำการประเมินต้นทุนการผลิตหลังการลดการใช้พลังงาน ดังนี้

ตาราง 13 ต้นทุนการผลิตหลังการลดใช้พลังงาน

ลำดับ	รายการ	ต้นทุนการผลิตหลังการลดใช้พลังงาน (บาท)
1	การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	20,766,940
2	การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	5,858,211
3	การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	18,968,703.24
4	การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	3,299,122
รวม		48,892,976

จากตาราง 13 ผลวิเคราะห์การลดการใช้พลังงานพบว่า กระบวนการที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดคือกระบวนการการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ จากกระบวนการปกติใช้พลังงาน 9.44 MJ ลดเหลือ 6.86 MJ คิดเป็นปริมาณน้ำมันดีเซลที่ลดลงได้เท่ากับ 85,758 ลิตรต่อปี เมื่อนำไปคำนวณราคาต้นทุน จะมีค่าเท่ากับ 5,858,211 บาท ส่วนกระบวนการที่สามารถลดการใช้พลังงานได้ลำดับถัดมาคือ กระบวนการการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน จากกระบวนการปกติใช้พลังงาน 8.928 MJ/ตัน เหลือ 7.596 MJ คิดเป็นปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงได้เท่ากับ 486,741.91 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี เมื่อนำไปคำนวณราคาต้นทุน จะมีค่าเท่ากับ 18,968,703.24 บาทต่อปี และกระบวนการสุดท้ายที่สามารถลดการใช้พลังงานได้คือ กระบวนการการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าจากกระบวนการปกติใช้พลังงาน 4.00MJ ลดเหลือ 3.77 MJ คิดเป็นปริมาณน้ำมันดีเซลที่ลดลงได้เท่ากับ 7,600 ลิตรต่อปี เมื่อนำไปคำนวณราคาต้นทุน จะมีค่าเท่ากับ 3,299,122 บาท

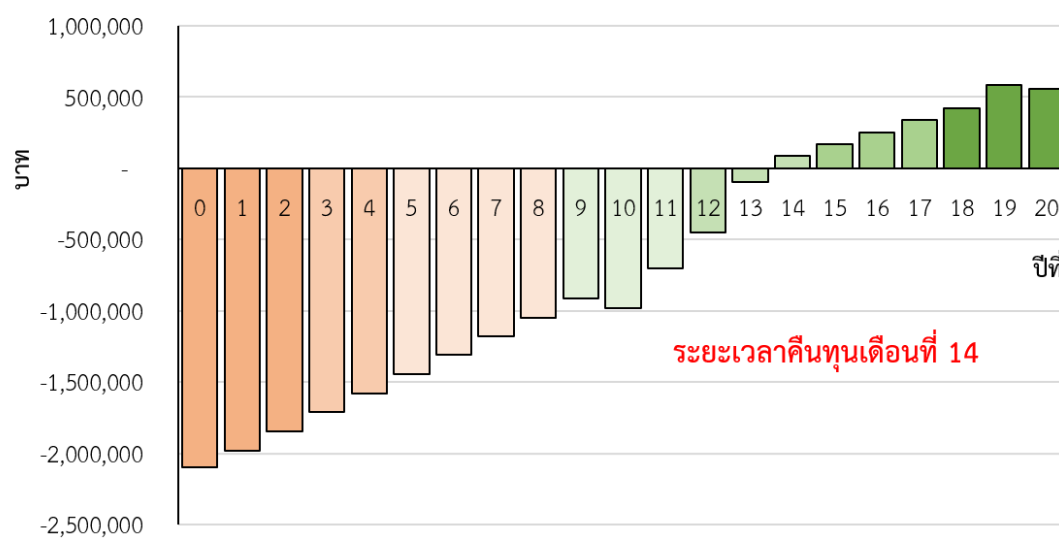
เมื่อเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตก่อนลดการใช้พลังงานและหลังการลดการใช้พลังงานของทั้ง 3 กระบวนการพบว่าสามารถลดต้นทุนการผลิตหินปูนได้จากเดิม 52,756,376 บาท เป็น 48,892,976 บาท คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้เท่ากับ 3,863,400 บาทต่อปี โดยสามารถสังเกตได้ว่า ในการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน เป็นกระบวนการได้มาซึ่ง

หินปูนเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตในขั้นตอนถัดไปจึงไม่สามารถ ควบคุมหรือลดการใช้พลังงานในขั้นตอนนี้ได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาขั้นตอนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนมีการใช้พลังงานสูงสุด และสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้มากที่สุดเช่นกันโดยลดลง 486,741.91 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อปี เนื่องจากการใช้พลังงานทั้งในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานเชื้อเพลิง จากการเปรียบเทียบข้อมูลในตาราง ข้อมูลด้านการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ก่อนการลดการใช้พลังงาน และ ตาราง ต้นทุนการผลิตหลังการลดใช้พลังงาน พบว่า สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานในกระบวนการผลิตหินปูนทั้งหมด จำนวน 3,863,400 บาท คิดเป็น ร้อยละ 7.90 โดยขั้นตอนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ เป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุดถึง 8,289,308 บาท สามารถลดการใช้พลังงานได้ เป็นเงินจำนวน 2,431,097 บาท คิดเป็น ร้อยละ 41.50 รองลงมาได้แก่ การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานเป็นเงินจำนวน 215,448 บาท ร้อยละ 6.53 และการบดย่อยและการคัดแยกหินปูนสามารถลดต้นทุนด้านพลังงาน เป็นเงินจำนวน 1,216,855 บาท คิดเป็น ร้อยละ 6.42

3.1 การประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับการประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการดำเนินมาตรการ จำเป็นต้องมีการลงทุนติดตั้งระบบประกอบไปด้วย ค่าอุปกรณ์เป็นเงิน 1,935,932.84 บาท และค่าติดตั้งระบบเป็นเงิน 164,067.16 บาท รวมทั้งสิ้น 2,100,000 บาท โดยมีค่าบำรุงรักษาระบบบดหินที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเดือน 35,000 บาท รวมทั้งมีต้นทุนค่าดำเนินการจากการซ่อมบำรุงระบบ ในเดือนที่ 10 และเดือนที่ 20 ครั้งละ 200,000 บาท รวมเป็นจำนวนเงิน 400,000 บาท ประเมินผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยหลังติดตั้งระบบที่ 40,561.83 kWh/เดือน และประเมินต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ 5 .00 บาท/kWh คิดเป็นมูลค่าในส่วนของพลังงานไฟฟ้า 136,486.95 บาทต่อเดือน และมีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อเดือน หรือที่เรียกว่าค่า Peak Demand ที่ 20 kW คิดเป็นมูลค่า 31,903.20 บาทต่อเดือน เมื่อทำการวิเคราะห์จะแสดงผลตอบแทนที่เกิดขึ้นจากการปรับแสดงตามตารางและรูปต่อไปนี้

เงินสุทธิ สะสม



ภาพ 15 ระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินมาตรการ



ตาราง 14 ข้อมูลผลการประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เดือนที่	ประเมินประสิทธิภาพระบบ	การประหยัด		ผลตอบแทนต่อเดือน		ค่าใช้จ่าย		
		พลังงานไฟฟ้า (kWh)	Demand (20 kW/เดือน)	(5.00 บาท/kWh)	ค่าบำรุงรักษาระบบเดิมที่เพิ่มขึ้น	ดอกเบี้ย 8%	รวม	Net Income
0								- 2,100,000
1	100.00%	27,297.39	31,903.20	136,486.95	35,000.00	14,000.00	49,000.00	119,390.15
2	100.00%	27,297.39	31,903.20	136,486.95	35,000.00	- 795.77	34,204.23	134,185.92
3	100.00%	27,297.39	31,903.20	136,486.95	35,000.00	- 894.41	34,105.59	134,284.56
4	100.00%	27,297.39	31,903.20	136,486.95	35,000.00	- 895.06	34,104.94	134,285.21
5	100.00%	27,297.39	31,903.20	136,486.95	35,000.00	- 895.07	34,104.93	134,285.22
6	100.00%	27,297.39	31,903.20	136,486.95	35,000.00	- 895.07	34,104.93	134,285.22
7	98.00%	26,746.54	31,903.20	133,732.70	35,000.00	- 895.07	34,104.93	131,530.97
8	98.00%	26,746.54	31,903.20	133,732.70	35,000.00	- 876.87	34,123.13	131,512.77
9	98.00%	26,746.54	31,903.20	133,732.70	35,000.00	- 876.75	34,123.25	131,512.65
10	98.00%	26,746.54	31,903.20	133,732.70	35,000.00		235,000.00	- 69,364.10
11	98.00%	26,746.54	31,903.20	133,732.70	35,000.00		35,000.00	130,635.90
12	98.00%	26,746.54	31,903.20	133,732.70	35,000.00		35,000.00	130,635.90
13	89.30%	24,372.10	31,903.20	121,860.50	35,000.00		35,000.00	118,763.70
14	88.60%	24,181.06	31,903.20	120,905.30	35,000.00		35,000.00	117,808.50
15	87.90%	23,990.01	31,903.20	119,950.05	35,000.00		35,000.00	116,853.25
16	87.20%	23,798.96	31,903.20	118,994.80	35,000.00		35,000.00	115,898.00
17	86.50%	23,607.92	31,903.20	118,039.60	35,000.00		35,000.00	114,942.80
18	85.80%	23,416.87	31,903.20	117,084.35	35,000.00		35,000.00	113,987.55
19	85.10%	23,225.82	31,903.20	116,129.10	35,000.00		35,000.00	113,032.30
20	84.40%	23,034.78	31,903.20	115,173.90	35,000.00		235,000.00	- 87,922.90

ตาราง 14 (ต่อ)

เดือนที่	ประสิทธิภาพระบบ	ผลตอบแทนต่อเดือน		ค่าบำรุงรักษาระบบเดิมที่เพิ่มขึ้น		ค่าใช้จ่าย		
		การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh)	Demand (20 kW/เดือน)	(5.00 บาท/kWh)	เพิ่มขึ้น	ดอกเบี้ย 8%	ค่าบำรุงรักษา	รวม
21	83.70%	22,843.73	31,903.20	114,218.65	35,000.00		35,000.00	111,121.85
22	83.00%	22,652.68	31,903.20	113,263.40	35,000.00		35,000.00	110,166.60
23	82.30%	22,461.64	31,903.20	112,308.20	35,000.00		35,000.00	109,211.40
24	81.60%	22,270.59	31,903.20	111,352.95	35,000.00		35,000.00	108,256.15
25	80.90%	22,079.54	31,903.20	110,397.70	35,000.00		35,000.00	107,300.90

การประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับโครงการการลงทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน ที่มีอายุโครงการ 27 ปี ตามระยะเวลาของเหมืองหินปูนที่จะปิด ในปี พ.ศ. 2593 (ระยะเวลา 27 ปี นับจากการติดตั้งในปี พ.ศ. 2566) จะใช้เครื่องวัดทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV), อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio, BCR) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) โดยมีการกำหนดตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง 15 สมมุติฐานในการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

สมมุติฐาน		อ้างอิง
อัตราค่าไฟ	4.1 บาท/kWh	ค่าเฉลี่ยต้นทุนพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
อัตราการคิดลด	8.00%	อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ (minimum loan rate, MLR)

จากข้อมูลที่ได้ในการศึกษาข้อมูลของโครงการพบว่า เงินลงทุนสำหรับการติดตั้งระบบควบคุมน้ำหนัก (Belt Weighers) เท่ากับ 1,935,932.84 บาท ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาและปรับปรุงระบบ 250,000 บาทต่อปี ผลที่ได้จากการลงทุนคือ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า 486,741.91 kWh/ปี เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การคำนวณใน excel ทำให้ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 16 การประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

พ.ศ.	ปี	เงินลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	ต้นทุนรวม	ต้นทุน(มูลค่าปัจจุบัน)	ผลประโยชน์	ผลประโยชน์ (มูลค่าปัจจุบัน)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
2566	0	1,935,932.84	250,000.00	2,185,932.84	2,185,932.84	1,995,641.83	1,995,641.83	(190,291.01)
2567	1		250,000.00	250,000.00	231,481.48	1,995,641.83	1,847,816.51	1,616,335.03
2568	2		250,000.00	250,000.00	214,334.71	1,995,641.83	1,710,941.21	1,496,606.51
2569	3		250,000.00	250,000.00	198,458.06	1,995,641.83	1,584,204.83	1,385,746.77
2570	4		250,000.00	250,000.00	183,757.46	1,995,641.83	1,466,856.32	1,283,098.86
2571	5		250,000.00	250,000.00	170,145.80	1,995,641.83	1,358,200.30	1,188,054.50
2572	6		250,000.00	250,000.00	157,542.41	1,995,641.83	1,257,592.87	1,100,050.46
2573	7		250,000.00	250,000.00	145,872.60	1,995,641.83	1,164,437.84	1,018,565.24
2574	8		250,000.00	250,000.00	135,067.22	1,995,641.83	1,078,183.19	943,115.96
2575	9		250,000.00	250,000.00	125,062.24	1,995,641.83	998,317.76	873,255.52
2576	10		250,000.00	250,000.00	115,798.37	1,995,641.83	924,368.30	808,569.93
2577	11		250,000.00	250,000.00	107,220.71	1,995,641.83	855,896.57	748,675.86
2578	12		250,000.00	250,000.00	99,278.44	1,995,641.83	792,496.83	693,218.39
2579	13		250,000.00	250,000.00	91,924.48	1,995,641.83	733,793.36	641,868.88
2580	14		250,000.00	250,000.00	85,115.26	1,995,641.83	679,438.30	594,323.04
2581	15		250,000.00	250,000.00	78,810.43	1,995,641.83	629,109.53	550,299.11
2582	16		250,000.00	250,000.00	72,972.62	1,995,641.83	582,508.83	509,536.21
2583	17		250,000.00	250,000.00	67,567.24	1,995,641.83	539,360.03	471,792.79
2584	18		250,000.00	250,000.00	62,562.26	1,995,641.83	499,407.43	436,845.17
2585	19		250,000.00	250,000.00	57,928.02	1,995,641.83	462,414.29	404,486.27
2586	20		250,000.00	250,000.00	53,637.05	1,995,641.83	428,161.38	374,524.33

ตาราง 16 (ต่อ)

พ.ศ.	ปี	เงินลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	ต้นทุนรวม	ต้นทุน(มูลค่าปัจจุบัน)	ผลประโยชน์	ผลประโยชน์ (มูลค่าปัจจุบัน)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
2587	21		250,000.00	250,000.00	49,663.94	1,995,641.83	396,445.72	346,781.78
2588	22		250,000.00	250,000.00	45,985.13	1,995,641.83	367,079.37	321,094.24
2589	23		250,000.00	250,000.00	42,578.82	1,995,641.83	339,888.31	297,309.48
2590	24		250,000.00	250,000.00	39,424.83	1,995,641.83	314,711.39	275,286.56
2591	25		250,000.00	250,000.00	36,504.48	1,995,641.83	291,399.44	254,894.96
2592	26		250,000.00	250,000.00	33,800.44	1,995,641.83	269,814.30	236,013.85
2593	27		250,000.00	250,000.00	31,296.70	1,995,641.83	249,828.05	218,531.35
NPV = 18,898,590.04 บาท								
IRR = 26.99%								
Payback Period = 5.58 ปี								

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) 18,898,590.04 บาท ซึ่งหมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการในรูปตัวเงินที่ คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไป และ ค่า NPV ที่ได้มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการดังกล่าว สมควรที่จะลงทุน

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) 26.99 % ซึ่งหมายถึง อัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายใน การลงทุน เท่ากับมูลค่าปัจจุบัน ของกระแส เงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ ประหยัดพลังงาน ตลอดอายุโครงการ ผลลัพธ์ที่ได้ค่า IRR ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า อัตราการ คิดลด (discount rate (i)) ที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจ ถือได้ว่า โครงการดังกล่าว เหมาะสมต่อการลงทุน

3. ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) 5.58 ปี ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาการ ดำเนินงานโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการ มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุน พอดี แสดงให้เห็นว่าโครงการมีผลตอบแทนคืนภายในระยะเวลาอันสั้น และอยู่ในระยะเวลาที่ สั้นกว่าระยะเวลาของโครงการ เหมาะสมต่อการลงทุน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยหัวข้อ การวิเคราะห์พลังงานก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน สามารถสรุปผลการวิจัยที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังหัวข้อต่อไปนี้

สรุปผลวิเคราะห์การใช้พลังงานของกระบวนการ การผลิตหินปูน

จากผลการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปเป็นผลของการวิเคราะห์พลังงานก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูน ได้ดังนี้

ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton มีค่าเท่ากับ 78.31 MJ โดยพบว่ามาจากการใช้พลังงานทางตรงเท่ากับ 76.52 MJ คิดเป็นร้อยละ 97.71 และมาจากพลังงานทางอ้อมเท่ากับ 1.79 MJ คิดเป็นร้อยละ 2.29 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานจากทางตรงเป็นหลัก กระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินมีการใช้พลังงาน 37.59 MJ รองลงมาคือการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ใช้พลังงาน 27.28 MJ การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าใช้พลังงาน 9.44 MJ และการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ใช้พลังงาน 4.00 MJ เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานแยกรายทรัพยากร พบว่า พลังงานในการใช้ไฟฟ้าของกระบวนการ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน 27.15 MJ มีค่ามากที่สุด

การวิเคราะห์พลังงานจำเพาะก๊าซเรือนกระจก (SEC) พบว่า ปริมาณ CO₂ ทั้งกระบวนการผลิต เท่ากับ 4,770,961 kgCO₂e/หน่วย กระบวนการที่สามารถปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 2,007,662 kgCO₂e/หน่วย

แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน พบว่ากระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน อัตราหินที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm.) ของรอบการผลิตปี 2561 มีอัตราหินบ้อนย้อนกลับ (Return) ร้อยละ 30 -40 เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของค้อนบดย่อยลดลงเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งระบบควบคุมน้ำหนัก (Belt Weighers) ของหินที่ไม่ได้มาตรฐานบริเวณด้าน สายพานบ้อนย้อนกลับ (Return) ซึ่งจะส่งผลให้มีการควบคุมอัตราการบ้อนกลับซึ่งทางโรงไฟฟ้าแม่เมาะกำหนดให้อยู่ในระดับที่ไม่เกินร้อยละ 20 และสามารถลดการใช้ไฟฟ้าต่อ

หน่วยการผลิต จาก ประมาณ 2.53 kWh/ton เหลือเพียง 2.10 kWh/ton ได้อัตราการผลิตหินปูนที่เหมาะสมเฉลี่ย 324 Ton/Hr การใช้น้ำมันดีเซลขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 25 ton (น้ำหนักบรรทุกหินจริง 22.5 ton) ในการขนหินที่ขุดเจาะได้เข้าโรงแต่ง พบว่า ในปี 2561 มีการขนหินทั้งหมดปริมาณกว่า 1,929,532 ton และมีจำนวนการขนหินมากกว่า 85,758 เที่ยว โดยรถขนหินนั้นจะต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 20 นาที ซึ่งเหมืองได้มีการบริหารจัดการการเดินรถขนหินและมีเป้าหมายในการลดเวลารอให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 85,758 l/yr. และการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า ในการขนหินขนาด 10 mm. จากไซโลไปยังระบบ FGD ต้องใช้รถบรรทุกโดยมีขนาด 25 ton (อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 12 l) ซึ่งรถบรรทุกต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 30 นาที ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แนวทางการลดการจอดรอของรถขนหินให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 7,600 l/yr.

ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูนหลังลดการใช้พลังงานเมื่อมีการปรับปรุงการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนทั้ง 3 กระบวนการ พบว่า กระบวนการผลิตหินปูนมีค่า SEC ลดลงจาก 78.31 MJ เหลือ 72.80 MJ คิดเป็นร้อยละ 7.03 โดยในกระบวนการ 2) เมื่อลดการจอดรอของรถขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จาก 20 นาที ให้เหลือระยะเวลาจอดรอไม่เกิน 10 นาที สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 27.33 เช่นเดียวกันกับกระบวนการ 4) หากบริหารเวลาสำหรับการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้าให้ลดการจอดรอจาก 30 นาที ให้ไม่เกิน 10 นาที สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 5.75 สำหรับกระบวนการ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ควรมีการบำรุงรักษาค้อนบดย่อยให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพจะทำให้ลดอัตราหินป้อนย้อนกลับและสามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 9.89

การวิเคราะห์พลังงานจำเพาะก๊าซเรือนกระจก (SEC) หลังใช้แนวทางการลดใช้พลังงาน พบว่า ปริมาณCO₂ที่ลดได้ เท่ากับ 499,179 kgCO₂e/หน่วย กระบวนการที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด คือกระบวนการการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน สามารถลดลงได้เท่ากับ 243,322 kgCO₂e/หน่วย

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตหินปูนกระบวนการที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดคือกระบวนการการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ จากกระบวนการปกติใช้พลังงาน 9.44 MJ ลดเหลือ 6.86 MJ คิดเป็นปริมาณน้ำมันดีเซลที่ลดลงได้เท่ากับ 85,758 ลิตรต่อปี สำหรับการประเมินผลการคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการประเมิน

พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) 18,898,590.04 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) 26.99 % ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 5.58 ปี

จากการศึกษาแนวทางทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตหินปูน จึงได้ข้อสรุป แนวทางการลดใช้พลังงานในการผลิตหินปูนดังต่อไปนี้ มาตรการการลดการใช้พลังงานที่ตรงประเด็น คือ การลดการใช้พลังงานในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน แต่เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมการทำงานได้ยากและกิจกรรมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่เป็นหลัก ดังนั้น มาตรการการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสม คือ การลดหินป้อนกลับในกระบวนการบดย่อยเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าและการลดเวลาการรอของรถขนส่งเพื่อลดการใช้น้ำมันดีเซล พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานของกระบวนการได้มากถึงร้อยละ 7.03 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการ ในอนาคตผู้ผลิตหินปูนสามารถใช้ค่า SEC ตั้งเป็นเกณฑ์เป้าหมาย (Benchmark) สำหรับลดการใช้พลังงานในกระบวนการย่อยต่าง ๆ รวมถึงตลอดกระบวนการผลิตได้ เพื่อให้การผลิตหินปูนมีประสิทธิภาพทางพลังงานสูงขึ้น ลดต้นทุน และส่งผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยลง

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. ควรทำการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อติดตามต้นทุนจากการใช้แนวทางการลดใช้พลังงานในการผลิตหินปูน ของการติดตั้งระบบควบคุมน้ำหนัก (Belt Weighers) ของหินที่ไม่ได้มาตรฐานบริเวณด้านสายพานป้อนย้อนกลับ (Return)
2. เหมืองหินปูนสามารถนำแนวทางการลดการใช้พลังงานในการผลิตหินปูน ไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนงบประมาณค่าใช้จ่าย และการดำเนินงานในส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพขององค์กรต่อไป
3. แนวทางการลดการใช้พลังงานในการผลิตหินปูนจากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เหมืองหินปูนสามารถจัดกิจกรรมการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่บุคลากร และจัดทำแผนพัฒนาบุคลากรในที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตหินปูนเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ
4. จากการดำเนินการลดการใช้พลังงานในการผลิตหินปูนที่สามารถลดต้นทุนในการผลิตและยังก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โรงผลิตหินปูนสามารถต่อยอดการศึกษาครั้งนี้ด้วยการจัดทำต้นแบบหรือเป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในการประชาสัมพันธ์ข้อมูลและการสร้างความตระหนักถึงผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกให้แก่บุคลากรในหน่วยงานภาครัฐ ภาคประชาชน และผู้สนใจ

บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2564). **สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2564**. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2564. จาก <http://www.gat.co.th/index.php>.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย แม่เมาะ. (2565). **สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2566**. จาก <https://www.egat.co.th>.
- ธนัฐฤตฤณ บุญนาค. (2558). เศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดการพลังงาน : กรณีก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ. **วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์**, 23(43), 107–125.
- บุญธิตา เสงี่ยมเนตร และสิทธิเดช พงศ์กิจวรสิน (ผู้บรรยาย). (15 มกราคม 2559). การวิเคราะห์นโยบายค่าภาคหลวงแร่ทองคำในประเทศไทย. In **The National and International Graduate Research Conference 2016**. (หน้า 902–909). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. (2537). ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารของป่าเต็งรังในประเทศไทย. **วารสารวนศาสตร์**, 13, 88–97.
- วิเชียร สุ่มันตกุล และชิงชัย วิริยะบัญชา. (2550). **การศึกษาผลผลิตปฐมภูมิของสวนป่าไม้สักและสวนป่าไม้โตเร็วบางชนิดเพื่อการอนุรักษ์อย่างยั่งยืน**. เอกสารงานวิจัย กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพรรณพืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพรรณพืช.
- เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2559). **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. เชียงใหม่**. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2565). **หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 4 ขั้นตอน Life Cycle Assessment (LCA)**. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2566. จาก <http://www.thaiecoproduct.com/index.php/knowledge2/14-knowledge-lca.html>
- สุदारัตน์ ผาสุกโก นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์. (2557). การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ ด้วยการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูนและการบำบัดแบบธรรมชาติ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 14(3), 12–23.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). **รายงานสถิติการใช้พลังงานของประเทศไทย 2558**.

กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2562). **Energy Statistic of Thailand 2019**. สืบค้นเมื่อ 2 มิถุนายน 2565, จาก [http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/summary statistic?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/summary%20statistic?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1)
- สำเร็จ ปานอุทัย, สิริรัตน์ จันทรมหเสถียร, ชิงชัย วิริยะปัญญา, ภาณุมาศ ลาตปาละ, ธิติ วิสารรัตน์ สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และคณะ (ผู้บรรยาย). (23-28 มีนาคม 2555). ศักยภาพของป่าอนุรักษ์และป่าเศรษฐกิจในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. **ในการประชุมวิชาการประจำปี 2555 ของ สวทช. (NAC 2012)**. (หน้า 107). กรุงเทพฯ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกพรีนธ์ (องค์การมหาชน). (2559). **คู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกพรีนธ์ภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร**. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกพรีนธ์.
- อาทิมา ดับไคก. (2559). **การประเมินก๊าซเรือนกระจกพรีนธ์จากอุตสาหกรรมเหมืองแร่: หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Alan C. Brent and Sibbele Hietkamp, (2003). Comparative Evaluation of Life Cycle Impact Assessment Methods with a South African Case Study. *Int J LCA*, 8(1), 27–38.
- Attavanich, W., Chantararat, S., Chenphuengpawon, J., Mahasuweerachai, P., & Thampanishvong, K. (2019). **Farms, farmers and farming: a perspective through data and behavioral insights (No. 122)**. Bangkok: Puey Ungphakorn Institute for Economic Research.
- Chantima Rew-layngeon. (2013). **Development of Life Cycle Environmental Impact Assessment Model by Endpoint Analysis**. Dissertation Ph.D., Chiang Mai: Chiang Mai University.
- Chiara B.D., De Franco D., Coviello N., and Pastrone D., (2017). Comparative specific energy consumption between air transport and high-speed rail transport: A practical assessment. **Transportation Research Part D**, 52, 227–243.
- Department of Primary Industries and Mines. (2021). **Mineral Statistics of Thailand 2014–2018**. Retrieved August, 15, 2021. from

<http://www1.dpim.go.th/dt/pper/000001567147580.pdf>.

Ecoinvent. (2014). **Ecoinvent V 3.1 Database**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Switzerland: Dübendorf.

Electricity Generating Authority of Thailand. (2021). **Proportion of using fuel to produce electricity in the system of EGAT 2021**. Retrieved August 15, 2021. from <http://www.gat.co.th/index.php>.

Energy Policy and Planning Office. (2019). **Energy Statistic of Thailand 2019**. Bangkok: Ministry of Energy

Frank Brentrup, JiirgenKiisters, Joachim Lammel and Hermann Kuhlmann. (2002). Impact Assessment of Abiotic Resource Consumption Conceptual Considerations, **Int J LCA** 7, 5, 301–307.

Jana Lieberei and Shabbir H. Gheewala. (2017). Resource depletion assessment of renewable electricity generation technologies—comparison of life cycle impact assessment methods with focus on mineral resources. **Int J Life Cycle Assess**, 22, 185–196.

Karabelas A.J., Koutsou C.P., Kostoglou M., and Sioutopoulos D.C., (2018). Analysis of specific energy consumption in reverse osmosis desalination processes. **Desalination**, 431, 15–21.

Kittipongvises, S., (2017). Assessment of Environmental Impacts of Limestone Quarrying Operations in Thailand. **Environmental and Climate Technologies**. 20, 67–83.

Kittipongvises, S., and Polprasert, C. (2016). GHGs Emissions and Sustainable Solid Waste Management. **Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes**. 16, 55–85.

Liu, F., et al., (2015). A comparison of the energy consumption and carbon emissions for different modes of transportation in open-cut coal mines. **International Journal of Mining Science and Technology**. 25(2), 261–266.

Li M., Reducing specific energy consumption in Reverse Osmosis (RO). (2011). water desalination An analysis from first principles. **Desalination**, 276, 128–135,

M.A.J. Huijbregts, Z.J.N. Steinmann, P.M.F. Elshout, G. Stam, F. Verones, M.D.M. Vieira, A.

- Hollander, M. Zijp, R. van Zelm, (2016). ReCiPe2016A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **The International Journal of Cycle Assessment**, 22, 138–147.
- Manfred Klinglmair, Serenella Sala and Miguel Brandão, (2014). Assessing resource depletion in LCA: a review of methods and methodological issues, *Int J Life Cycle Assess*, **The International Journal of Cycle Assessment**, 19(3), 580–592.
- Mark Goedkoop, Reinout Heijungs, Mark Huijbregts, An De Schryver, Jaap Struijs and Rosalie van Zelm. (2009). **ReCiPe2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level Report I: Characterisation**. Ministry of Housing: Spatial Planning and Environment (VROM).
- Niyomthai, S. and Wattanawan, A. (2014). Sustainable Mining in Thailand: Paradigm Shift in Environmental Management. **Applied Environmental Research**. 36(1), 55–63.
- Pasukko, S., et al., (2014). Wastewater Treatment of KhaewKaeb Factory by Deacidification Using Limestone and The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. **KKU Research Journal**, 14(3), 12–23.
- P. Diloksumpun, T. Visaratana, S. Panuthai, P. Ladpala and S. Janmahasatien. (2008). Carbon Cycling in Two Contrasting Forests of Thailand, **Proceeding of the FORTROP II: Tropical Forestry Change in a Changing World**, Bangkok: Kasetsart University.
- Saiyasri, W., et al., (26–28 June 2019). Energy performance index to indicate energy efficiency of brake fabric factory. **4th National Conference of Rajamangala University of Technology Rattanakosin and 1st International Conference of Rajamangala University of Technology Rattanakosin**. (Page 97–107). Bangkok: University of Technology Rattanakosin
- Srimod, P. and Promwattanapakdee, T. (2015). Specific Energy Consumption Analysis in Lecture Building Sripatum University. **10th National Conference of Sripatum University**, (Page 1137 – 1145). Bangkok: Sripatum University.

Takeshi Matsuda, Ryota Li and Norihiro Ito. (2018). **Development Global Damage Factors of Resource Consumption**. Japan: Tokyo City University.

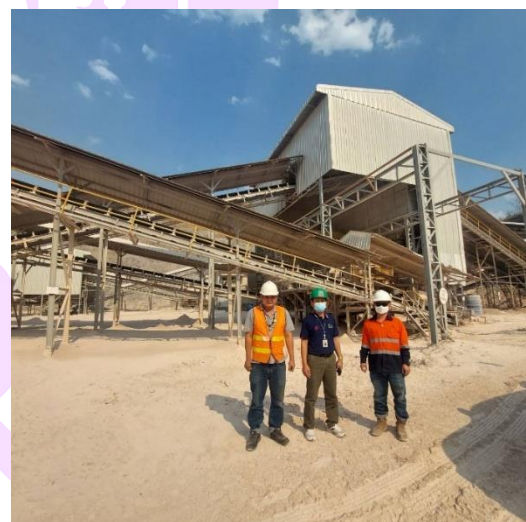
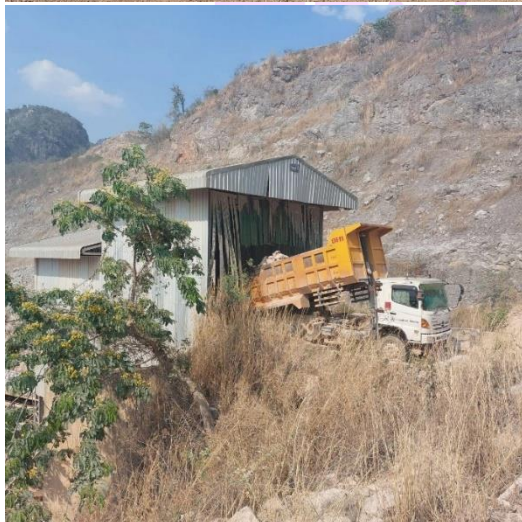




ภาคผนวก ก ภาพการสำรวจข้อมูลในกระบวนการผลิตหินปูน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ
จังหวัดลำปาง



ภาคผนวก ข การลำเลียงหินปูนเข้ากระบวนการบดคัดย่อยหินปูน



ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบที่ใช้ในการคำนวณพลังงานจำเพาะ และก๊าซเรือนกระจกของ
กระบวนการผลิตหินปูน

ตาราง 17 ข้อมูลดิบที่ใช้ในการคำนวณพลังงานจำเพาะ และก๊าซเรือนกระจกของ
กระบวนการผลิตหินปูน

ปี	เดือน	พื้นที่เปิด หน้าเหมือง ตารางเมตร	ดิน+หิน ที่ เกิดจากการ เปิดหน้า เหมือง (m3)	ดิน+หิน ที่ เกิดจากการ เปิดหน้า เหมือง (ตัน)	พื้นที่ชุด/เจาะ (m2)
2560	ม.ค.	10,445.72	18,349.40	47,708.44	5,734.19
2560	ก.พ.	-	27,237.80	70,818.28	8,511.81
2560	มี.ค.	19,344.00	23,565.00	61,269.00	7,364.06
2560	เม.ย.	17,909.28	19,121.23	49,715.20	5,975.38
2560	พ.ค.	24,882.08	22,848.70	59,406.62	7,140.22
2560	มิ.ย.	10,221.60	28,137.60	73,157.76	8,793.00
2560	ก.ค.	6,652.00	23,299.23	60,578.00	7,281.01
2560	ส.ค.	15,520.88	24,556.77	63,847.60	7,673.99
2560	ก.ย.	9,996.96	30,433.80	79,127.88	9,510.56
2560	ต.ค.	9,511.04	22,311.92	58,011.00	9,296.63
2560	พ.ย.	19,056.00	22,166.92	57,634.00	9,236.25
2560	ธ.ค.	7,040.00	4,999.23	12,998.00	6,248.89
รวม		150,579.56	267,027.61	694,271.78	92,766.01

ตาราง 17 (ต่อ)

ปี	เดือน	หินปูนที่ เจาะ/ระเบิด ได้ (m3)	หินระเบิดได้ (ton)	หินปูน60- 80 cmส่งเข้า ไม่ (m3)	หินปูน60-80 cmส่งเข้าไม่ (ตัน)
2560	ม.ค.	45,873.50	119,271.10	40,557.69	105,450.00
2560	ก.พ.	68,094.50	177,045.70	47,326.92	123,050.00
2560	มี.ค.	58,912.50	153,172.50	46,000.00	119,600.00
2560	เม.ย.	47,803.08	124,288.00	43,971.15	114,325.00
2560	พ.ค.	57,121.75	148,516.55	38,500.00	100,100.00
2560	มิ.ย.	70,344.00	182,894.40	45,971.15	119,525.00
2560	ก.ค.	58,248.08	151,445.00	41,192.31	107,100.00
2560	ส.ค.	61,391.92	159,619.00	48,740.38	126,725.00
2560	ก.ย.	76,084.50	197,819.70	46,730.77	121,500.00
2560	ต.ค.	74,373.08	193,370.00	51,682.69	134,375.00
2560	พ.ย.	73,890.00	192,114.00	49,750.00	129,350.00
2560	ธ.ค.	49,991.15	129,977.00	50,000.00	130,000.00
รวม		742,128.06	1,929,532.95	550,423.08	1,431,100.00

ตาราง 17 (ต่อ)

ปี	เดือน	หิน10mmที่ ผลิตได้ (ตัน)	หิน Reject (LCM)	หิน Waste (LCM)	หิน10mmส่ง โรงไฟฟ้า (ตัน)
2560	ม.ค.	105,239.10	4,907.00	2,198.00	106,704.46
2560	ก.พ.	110,745.00	3,275.00	153.00	94,001.78
2560	มี.ค.	107,640.00	1,788.00	2,102.00	105,790.13
2560	เม.ย.	108,608.75	-	-	112,095.00
2560	พ.ค.	95,095.00	5,405.00	2,852.00	103,926.64
2560	มิ.ย.	113,548.75	7,500.00	4,057.00	101,110.85
2560	ก.ค.	101,745.00	1,898.00	17,770.00	95,780.78
2560	ส.ค.	114,052.50	10,145.00	8,165.00	92,453.89
2560	ก.ย.	106,600.00	7,573.00	4,885.00	99,563.38
2560	ต.ค.	106,067.00	6,367.00	13,825.00	94,154.66
2560	พ.ย.	118,250.00	10,932.00	12,060.00	80,878.00
2560	ธ.ค.	109,350.00	8,273.00	8,734.00	87,720.00
รวม		1,296,941.10	68,063.00	76,801.00	1,174,179.57

ตาราง 17 (ต่อ)

ปี	เดือน	ใช้น้ำโรงโม่ (ลบ.ม.)	ใช้น้ำทางวัง (ลบ.ม.)	วัดถูระเบิด	ปุ๋ยแอมโมเนียม ไนเตรท
2560	ม.ค.	4,509.90	3,612.00	597.50	10,051.00
2560	ก.พ.	5,808.40	5,628.00	985.00	16,846.00
2560	มี.ค.	4,956.70	6,384.00	1,058.50	14,362.00
2560	เม.ย.	4,271.00	4,704.00	906.00	12,421.00
2560	พ.ค.	3,767.40	3,504.00	960.50	15,275.00
2560	มิ.ย.	5,536.50	4,764.00	1,279.00	19,155.00
2560	ก.ค.	5,557.00	2,088.00	886.50	16,278.00
2560	ส.ค.	5,810.40	3,468.00	995.50	15,958.00
2560	ก.ย.	6,718.10	3,684.00	1,326.00	22,205.00
2560	ต.ค.	4,699.50	3,624.00	1,093.50	19,440.00
2560	พ.ย.	5,891.10	4,740.00	837.00	19,833.00
2560	ธ.ค.	4,740.00	4,740.00	695.00	13,146.00
รวม		62,266.00	50,940.00	11,620.00	194,970.00

ตาราง 17 (ต่อ)

ปี	เดือน	เก็บไฟฟ้า	ไฟฟ้า(หน่วย)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant oil) (ลิตร)
2560	ม.ค.	759.00	270,416.00	94,759.00	2,620.00
2560	ก.พ.	879.00	280,032.00	95,072.00	2,121.00
2560	มี.ค.	1,195.00	280,096.00	99,239.00	2,323.00
2560	เม.ย.	963.00	259,280.00	89,628.00	836.00
2560	พ.ค.	1,171.00	478,576.00	97,598.00	2,526.00
2560	มิ.ย.	1,532.00	208,832.00	94,960.00	707.00
2560	ก.ค.	958.00	226,944.00	97,133.00	1,557.00
2560	ส.ค.	1,061.00	259,776.00	106,795.00	1,305.00
2560	ก.ย.	1,456.00	254,656.00	98,439.00	1,426.00
2560	ต.ค.	1,004.00	262,752.00	100,261.00	1,259.00
2560	พ.ย.	1,155.00	271,712.00	90,159.00	1,486.00
2560	ธ.ค.	875.00	259,088.00	84,907.00	1,447.00
รวม		13,008.00	3,312,160.00	1,148,950.00	19,613.00

ภาคผนวก ค ปริมาณหินปูนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ตาราง 18 ปริมาณหินปูนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ปี	เดือน	ปริมาณการ			
		ผลิต กระแสไฟฟ้า (MWh)	ปริมาณหินปูนที่ ใช้ (ton)	ปริมาณ DeSO _x (ton)	ปริมาณ Gypsum (ton)
2560	ม.ค.	223131.00	12,648.00	8,395.00	22,268.00
2560	ก.พ.	185022.00	17,879.00	6,092.00	17,724.00
2560	มี.ค.	188454.00	20,320.00	12,610.00	35,833.00
2560	เม.ย.	211266.00	11,531.00	7,654.00	20,333.00
2560	พ.ค.	221461.00	11,460.00	7,784.00	20,209.00
2560	มิ.ย.	217205.00	10,697.00	7,097.00	18,862.00
2560	ก.ค.	223049.00	10,409.00	7,117.00	18,355.00
2560	ส.ค.	167272.00	9,355.00	5,783.00	16,497.00
2560	ก.ย.	201896.00	12,349.00	8,048.00	21,775.00
2560	ต.ค.	214967.53	10,443.00	7,616.00	18,414.00
2560	พ.ย.	116657.82	5,565.00	3,765.00	9,796.00
2560	ธ.ค.	109216.00	5,067.00	3,228.00	8,935.00
รวม		2,279,597.35	137,723.00	85,189.00	229,001.00

ภาคผนวก ง ตารางค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) รวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิ สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

ชื่อ		Units	EMISSION FACTORS				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
			[kgCO ₂ /unit]	[kgCH ₄ /unit]	[kgN ₂ O/unit]	[kgCO ₂ eq/unit]	
Stationary Combustion							
1	Natural gas	scf	5.72E-02	1.02E-06	1.02E-07	0.0573	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
2	Natural gas	MJ	5.61E-02	1.00E-06	1.00E-07	0.0562	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
3	Lignite	kg	1.06E+00	1.05E-05	1.57E-05	1.0619	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
4	Fuel oil A	litre	3.21E+00	1.24E-04	2.49E-05	3.2200	IPCC Vol.2 table 2.2, PTT
5	Fuel oil C	litre	3.24E+00	1.25E-04	2.51E-05	3.2457	IPCC Vol.2 table 2.2, PTT
6	Gas/Diesel oil	litre	2.70E+00	1.09E-04	2.19E-05	2.7078	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
7	Anthracite	kg	3.09E+00	3.14E-05	4.71E-05	3.1000	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
8	Sub-bituminous coal	kg	2.53E+00	2.64E-05	3.96E-05	2.5454	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
9	Jet Kerosene	litre	2.47E+00	1.04E-04	2.07E-05	2.4775	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
10	LPG	litre	1.68E+00	2.66E-05	2.66E-06	1.6812	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
11	LPG	kg	3.11E+00	4.93E-05	4.93E-06	3.1134	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE LPG 1 litre = 0.54 kg
12	Motor gasoline	litre	2.18E+00	9.44E-05	1.89E-05	2.1894	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
13	FUEL WOOD	kg		4.80E-04	6.40E-05	0.0304	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
14	Bagasse	kg		2.26E-04	3.01E-05	0.0143	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
15	Palm kernel shell	kg		5.56E-04	7.41E-05	0.0352	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
16	Cob	kg		5.03E-04	6.71E-05	0.0319	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
17	Biogas	m3		2.09E-05	2.09E-06	0.0011	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
18	FUEL WOOD (CO2only)	kg	1.79E+00			1.7909	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
19	Bagasse (CO2only)	kg	7.53E-01			0.7530	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
20	Palm kernel shell (CO2only)	kg	1.85E+00			1.8530	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
21	Cob (CO2only)	kg	1.68E+00			1.6780	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
22	Biogas (CO2only)	m3	1.14E+00			1.1428	IPCC Vol.2 table 2.2, DEDE
Mobile Combustion (On road)							
23	Motor Gasoline - uncontrolled	litre	2.18E+00	1.04E-03	1.01E-04	2.2394	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
24	Motor Gasoline - oxydation catalyst	litre	2.18E+00	7.87E-04	2.52E-04	2.2719	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
25	Motor Gasoline - low mileage light duty vehicle vintage 1995 or later	litre	2.18E+00	1.20E-04	1.79E-04	2.2327	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
26	Gas/ Diesel Oil	litre	2.70E+00	1.42E-04	1.42E-04	2.7406	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE

No	ชื่อ	Units	EMISSION FACTORS				แหล่งอ้างอิงข้อมูล
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	
			[kgCO ₂ /unit]	[kgCH ₄ /unit]	[kgN ₂ O/unit]	[kgCO ₂ eq/unit]	
27	Compressed Natural Gas	kg	2.13E+00	3.49E-03	1.14E-04	2.2609	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, PTT
28	Liquified Petroleum Gas	litre	1.68E+00	1.65E-03	5.32E-06	1.7306	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE
29	Liquified Petroleum Gas	kg	3.11E+00	3.06E-03	9.86E-06	3.2049	IPCC Vol.2 table 3.2.1, 3.2.2, DEDE LPG 1 litre = 0.54 kg
Mobile Combustion (Off road)							
Diesel							
30	- Agriculture	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
31	- Forestry	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
32	- Industry	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
33	- Household	litre	2.70E+00	1.51E-04	1.04E-03	2.9793	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
Motor Gasoline - 4 stroke							
34	- Agriculture	litre	2.18E+00	2.52E-03	6.30E-05	2.2738	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
35	- Forestry	litre	2.18E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.1816	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
36	- Industry	litre	2.18E+00	1.57E-03	6.30E-05	2.2455	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
37	- Household	litre	2.18E+00	3.78E-03	6.30E-05	2.3116	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
Motor Gasoline - 2 stroke							
38	- Agriculture	litre	2.18E+00	4.41E-03	1.26E-05	2.3171	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
39	- Forestry	litre	2.18E+00	5.35E-03	1.26E-05	2.3454	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
40	- Industry	litre	2.18E+00	4.09E-03	1.26E-05	2.3077	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
41	- Household	litre	2.18E+00	5.67E-03	1.26E-05	2.3549	IPCC Vol.2 table 3.3.1, DEDE
Electricity, grid mix (ไฟฟ้า)							
42	ไฟฟ้าแบบ grid mix ปี 2016-2018; LCIA method IPCC 2013 GWP 100a V1.03	kWh	0.4954	6.10E-05	1.04E-05	0.4999	Thai National LCI Database, TIISMTEC-NSTDA, AR5 (with TGO electricity 2016-2018)
Refrigerants (สารทำความเย็น)							
43	R-22 (HCFC-22)	kg	-	-	-	1,760.0000	IPCC 2013, AR5
44	R-32	kg	-	-	-	677.0000	IPCC 2013, AR5
45	R-125	kg	-	-	-	3,170.0000	IPCC 2013, AR5
46	R-134	kg	-	-	-	1,120.0000	IPCC 2013, AR5
47	R-134a	kg	-	-	-	1,300.0000	IPCC 2013, AR5
48	R-143	kg	-	-	-	328.0000	IPCC 2013, AR5
49	R-143a	kg	-	-	-	4,800.0000	IPCC 2013, AR5

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ประกอบ ประมะ
วัน เดือน ปี เกิด	29 พฤศจิกายน 2506
สถานที่เกิด	แพร่
วุฒิการศึกษา	2552 วท.ม., (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 2557 อส.บ., (เทคโนโลยีไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, ปทุมธานี.
ที่อยู่ปัจจุบัน	340 หมู่ที่ 8 ตำบลสบป่าด อำเภอมะแมะ จังหวัดลำปาง 52220
ผลงานตีพิมพ์	[1] ประกอบ ประมะ พุทธิ อุบลสุขชนวรกฤต โอฬารธนพร และสุรัตน์ เศษโพธิ์ (2566). การวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต และแนวทางการลดพลังงานในกระบวนการผลิตหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่ แมะ. สักทอง :วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 10(1), อยู่ระหว่างการ การตีพิมพ์ [2] ประกอบ ประมะ พุทธิ อุบลสุข และสุรัตน์ เศษโพธิ์. (2566).การ ประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของ ทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูน กรณีศึกษา: เหมืองแร่หินปูน เพื่ออุตสาหกรรมเคมี ของการไฟฟ้า ฝายผลิตแห่งประเทศไทย อ.แม่ แมะ จ.ลำปาง. วารสารวิชาการเทพสตรี, 18(1), อยู่ระหว่างการตีพิมพ์
รางวัลที่ได้รับ	-